

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-318955

(43)Date of publication of application : 15.11.1994

(51)Int.Cl.

H04L 12/56

(21)Application number : 05-099746

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 26.04.1993

(72)Inventor : TOKURA NOBUYUKI  
TATSUNO HIDEO  
KAJIYAMA YOSHIO

(30)Priority

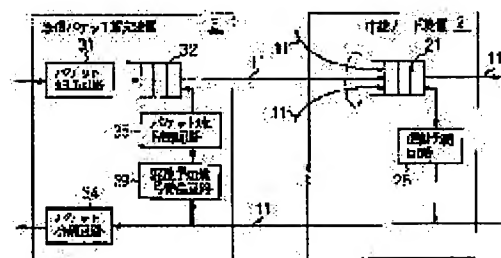
Priority number : 04107869	Priority date : 27.04.1992	Priority country : JP
04215310	12.08.1992	JP
04317256	26.11.1992	JP
05 46922	08.03.1993	JP

## (54) PACKET NETWORK AND CONGESTION AVOIDING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To avoid the congestion of a packet network to prevent abandonment of packets by using an acceleration as the value expressing the degree of increase of the packet communication speed to control the packet communication.

CONSTITUTION: A maximum allowable packet communication speed is determined for packet transmission from a transmission packet terminal equipment 3 of the packet network, and the acceleration is provided as the value expressing the degree, in which the packet communication speed can be increased to the allowable packet communication speed, independently of this speed. That is, the future occurrence of congestion is detected by a packet communication speed  $V(t)=V+\alpha \cdot t$  of a time (t) after where  $\alpha$  is the upper limit value of the acceleration and V is the present packet communication speed, and it is discriminated whether congestion will occur or not. If congestion will occur based on this discrimination, a congestion prediction signal is transmitted to the transmission packet terminal equipment 3 from a congestion forecasting circuit 25 of a repeating node device 2, and the transmission packet terminal equipment 3 reduces the packet communication speed.



Ref. 5

JPH06-318955

Paragraph [0134]

[0134] As mentioned above, by calculating cell transmission intervals one after another, cell transmission time interval table 64 can be produced. Incidentally, at the time of calculating cell transmission intervals, the average cell rate can smoothly be increased exponentially as the time elapses by correcting an error using a cell transmission interval error of the preceding cell.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-318955

(43)公開日 平成6年(1994)11月15日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 4 L 12/56

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

8529-5K

H 0 4 L 11/ 20

1 0 2 E

審査請求 未請求 請求項の数29 O L (全 25 頁)

(21)出願番号 特願平5-99746

(22)出願日 平成5年(1993)4月26日

(31)優先権主張番号 特願平4-107869

(32)優先日 平4(1992)4月27日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先権主張番号 特願平4-215310

(32)優先日 平4(1992)8月12日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(31)優先権主張番号 特願平4-317256

(32)優先日 平4(1992)11月26日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 戸倉 信之

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 龍野 秀雄

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 梶山 義夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

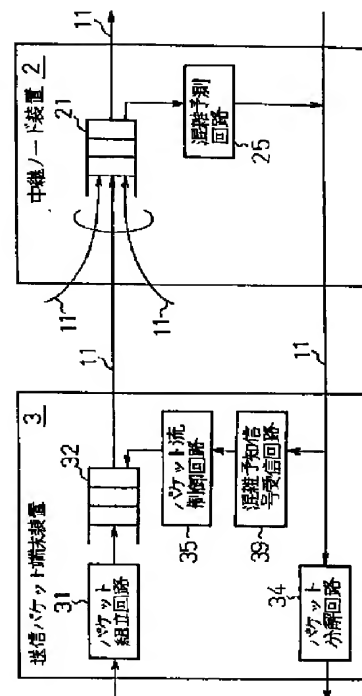
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 パケット網およびパケット網の輻輳回避方法

(57)【要約】

【目的】 速度可変性を有するパケット網において、パケットの廃棄がなくその伝送路使用効率のよい網運用を実現するものである。

【構成】 パケット網の入口での最大許容パケット通信速度が定められたパケット転送において、パケット通信速度の増加の程度を表す値、例えば加速度にも上限を設ける。送信ノードはこのパケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値の範囲内で、最大許容パケット通信速度になるまで、パケット通信速度を増加できる。中継ノードまたは受信ノードで、現在のパケット通信速度と、パケット通信速度増加の程度を表す上限値に基づいて、 $t$ 時間後のパケット通信速度を求め、輻輳が生じるか否かを予測する。予測結果に基づいて混雑予知信号を送信ノードに通知し、送信ノードは混雑予知信号を受信したときにパケット通信速度を減少することによりパケット網での輻輳を防止する。



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 送信ノードと受信ノードとの間で中継ノードを介してパケットの送受が行われるパケット網であり、前記送信ノードに許容されるパケット通信速度に上限が設けられたパケット網において、前記送信ノードのパケット通信速度の増加の程度を表す値に上限が設定されたことを特徴とするパケット網。

【請求項2】 パケット通信速度の増加の程度を表す値は、パケット通信速度の時間変化率（以下加速度という）である請求項1記載のパケット網。

【請求項3】 パケット通信速度の増加の程度を表す値は、パケット通信速度の時間変化比率（以下加速比率という）である請求項1記載のパケット網。

【請求項4】 パケット網の送信ノードのパケット通信速度には下限または初速度が設けられた請求項1から3までのいずれか記載のパケット網。

【請求項5】 パケット網内の中継ノードまたは受信ノードは、通過しているパケットのパケット通信速度または到来しているパケットのパケット通信速度と、前記パケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値に基づいてt時間後のパケット通信速度を予測する手段を備える請求項1から4までのいずれか記載のパケット網。

【請求項6】 中継ノードまたは受信ノードは、予測されたパケット通信速度に基づいて輻輳が生じることを予測する手段を備える請求項5記載のパケット網。

【請求項7】 中継ノードまたは受信ノードは、輻輳が生ずることが予測される場合に送信ノードに輻輳予測を通知する手段を備える請求項6記載のパケット網。

【請求項8】 伝送路を転送されるパケットの宛先アドレスもしくは回線番号あるいは経路識別番号ごとにパケット通信速度の増加の程度を表す値に上限が規定されているパケット網に設けられ、現在の到来しているパケット通信速度を検出する手段\*

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t)) + \sum_{j=1}^n V I_j$$

で演算して求める手段を備えた請求項8記載のパケット網の混雑予測回路。

【請求項12】 中継ノードを介して受信ノードとパケットの送受を行い、その送出するパケットの許容パケット通信速度に上限が設けられたパケット網の送信ノードにおいて、上記パケット上限通信速度の範囲内の、所定値以下のパケット通信速度の増加の程度を表す値の通信速度でパケットを送出する手段と、中継ノードまたは受信ノードから輻輳が生ずる旨の混雑予知信号を受信するとパケット通信速度を低減する手段とを備えた送信ノード。

【請求項13】 中継ノードを介して受信ノードとパケ

\*と、

この検出したパケット通信速度と、前記規定されたパケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値とに基づいてt時間後の最大パケット通信速度を予測する手段とを備えたことを特徴とするパケット網の混雑予測回路。

【請求項9】 規定されたパケットの加速度の上限を $\alpha_i$  ( $i=1 \sim m$ )とし、現在のパケットの合計速度を $V_\Sigma$ とすると、

t時間後の最大パケット通信速度 $V(t)$ を

【数1】

$$V(t) = V_\Sigma + \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot t$$

で演算して求める手段を備えた請求項8記載のパケット網の混雑予測回路。

【請求項10】 規定されたパケットの加速比率の上限を $\exp(\beta)$ とし、かつパケット速度の下限があり、伝送路をnグループに分け、各グループごとに、当該グループ内の最大加速比率 $\exp(\beta_i)$  ( $i=1 \sim n$ )と各グループ毎の現在のパケット通信速度の $V_{c1} \sim V_{cn}$ から、t時間後の最大パケット通信速度 $V(t)$ を

【数2】

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t))$$

で演算して求める手段を備えた請求項8記載のパケット網の混雑予測回路。

【請求項11】 規定されたパケットの加速比率の上限を $\exp(\beta)$ とし、かつパケット速度の初速度を $V I_j$  ( $j=1 \sim s$ )とし、伝送路をnグループに分け、各グループごとに、当該グループ内の最大加速比率 $\exp(\beta_i)$  ( $i=1 \sim n$ )と各グループ毎の現在のパケット通信速度の $V_{c1} \sim V_{cn}$ と全てのパケット速度の初速度の合計とから、t時間後の最大パケット通信速度 $V(t)$ を

【数3】

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t)) + \sum_{j=1}^n V I_j$$

ットの送受を行い、その送出するパケットの許容パケット通信速度に上限が設けられたパケット網の送信ノードにおいて、

上記パケット上限通信速度の範囲内の、所定値以下のパケット通信速度の増加の程度を表す値の通信速度でパケットを送出する手段と、

中継ノードまたは受信ノードから輻輳が生ずる旨の混雑予知信号を受信してもパケット通信速度を低減しない手段とを備えた送信ノード。

【請求項14】 中継ノードを介して受信ノードとパケットの送受を行う送信ノードにおいて、所定値以下のパケット通信速度の増加の程度を表す値の通信速度のパケットを送出する手段と、

規定値以下の通信速度では、中継ノードまたは受信ノードから輻輳が予測される旨の混雑予知信号を受信してもパケット通信速度を低減せず、前記規定値以上の通信速度では中継ノードまたは受信ノードから輻輳が予測される旨の混雑予知信号を受信するとパケット通信速度を低減する手段とを備えた送信ノード。

【請求項15】 輻輳が予測される場合の混雑予知信号の到来に代え、受信速度の上昇を受け入れられる場合にその旨を示すパケット速度増加要求表示した受信ノードより送信ノードに送られるパケットが、送信ノードに到達しないことによりパケット通信速度を低減する手段を備える請求項12または14記載の送信ノード。

【請求項16】 混雑予知信号を受信すると、その時点におけるパケット通信速度に対応するパケット転送間隔の $k$  ( $k > 1$ ) 倍の転送間隔で、またはその時点におけるパケット通信速度より一定速度または一定比率または一定指数比率でパケット通信速度を減少させた速度でパケットを送信する手段を備える請求項12または14もしくは15記載の送信ノード。

【請求項17】 受信した混雑予知信号に基づいて、パケット通信速度を低減するパケット送信制御回路を備える請求項12もしくは14から16までのいずれか記載の送信ノード。

【請求項18】 パケット送出間隔が指数関数的に短くなる時間経過をセル周期毎のアドレスとして有するパケット送出間隔時間テーブルを備え、このテーブルを用いてパケット送出を行うパケット送信制御回路を備える請求項12から17までのいずれか記載の送信ノード。

【請求項19】 規定されたパケット通信速度に上昇すると、この規定されたパケット通信速度に対応する時間経過アドレスまで戻り、そこから再びテーブルのパケット送出間隔時間を用いてパケットの送出を行うパケット送信制御回路を備える請求項18記載の送信ノード。

【請求項20】 網からの混雑予知信号を受信すると、前記テーブルの時間経過のアドレスから一定数または一定比率減少したアドレスへ戻ってパケット送出を行うパケット送信制御回路を備える請求項18または19記載の送信ノード。

【請求項21】 送信ノードと受信ノードとの間で中継ノードを介してパケットの送受が行われ、前記送信ノードに許容されるパケット通信速度に上限が設けられたパケット網における輻輳回避方法において、前記送信ノードは、許容パケット通信速度の範囲内でかつパケット通信速度の増加の程度を表す値の上限の範囲内でパケットを送出し、前記中継ノードまたは受信ノードは、通過しているパケットのパケット通信速度または到来しているパケットのパケット通信速度と、前記パケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値に基づいて $t$ 時間後のパケット通信速度を予測し、輻輳が予測される場合には輻輳が予知さ

れる旨を前記送信ノードに通知し、前記送信ノードはこの輻輳が予知される旨の通知を受信すると、その時点におけるパケット通信速度を低減することを特徴とするパケット網の輻輳回避方法。

【請求項22】 送信ノードと受信ノードとの間で中継ノードを介してパケットの送受が行われ、

全ての送信ノードのパケット通信速度に上限が設けられ、送信ノードは輻輳が予知される旨の通知の受信で、パケット通信速度を低減する送信ノードと、パケット通信速度が低減しない送信ノードと、規定速度以上で送信中はパケット通信速度を低減するが規定速度以下で送信中はパケット通信速度を低減しない送信ノードとを含む統合網であって、

輻輳が予知される旨の通信受信時にパケット通信速度を低減する送信ノードの速度低減量は、速度低減しない送信ノードをも含む速度上昇予測分を含めて低減する統合パケット網の輻輳回避方法。

【請求項23】 パケット通信速度の増加の程度を表す値は加速度である請求項21または22記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項24】 パケット通信速度の増加の程度を表す値は加速比率である請求項21または22記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項25】 輻輳が予測される旨の通知を受信すると、パケット通信速度を一定値減少させる請求項21から24までのいずれか記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項26】 輻輳が予測される旨の通知を受信すると、パケット通信速度を一定比率減少させる請求項21から24までのいずれか記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項27】 輻輳が生ずる旨の通知を受信すると、パケット通信速度を一定指数比率減少させる請求項21ないし24のいずれか記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項28】 輻輳が生ずる旨の通知は、パケット通信速度の増加要求信号もしくは増加要求表示を送信ノードに伝送しないことにより行う請求項21から27までのいずれか記載のパケット網の輻輳回避方法。

【請求項29】 送信ノードのパケット通信速度には下限または初速度が設けられた請求項23ないし28のいずれか記載のパケット網の輻輳回避方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、速度可変性を有するパケット網に関する。本発明は可変長パケットまたはATM (Asynchronous Transfer Mode) などの固定長のパケット (セル) の転送を可変速度で行うことができるパケット網およびパケット網での輻輳 (混雑) を回避する方法ならびにそのための装置構成に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から伝送路での通信速度、例えばbit/secで表される通信速度は一定基準速度のものとなっていた。また、交換設備も同様に一定基準速度のものとなっていた。

【0003】ところで、可変長パケットまたはATMのような固定長パケット（セル）を送信ノードから受信ノードまで、中継ノードを介して、そのセルの宛先アドレス、もしくは回線番号あるいは経路識別番号に基づいて網内を転送するパケット網もしくはATM網においては、利用者の都合によるタイミングで送信が可能であるようになっている。このパケット網もしくはATM網では利用者の都合により契約により時間当たりの転送情報量が変化できるようになっている。

【0004】このような伝送網でのトラヒックの輻輳とその対策としては以下のような方法がとられる。

【0005】まず、網でのデータ転送が呼受け付け制御により行われるシステムでは、トラヒックの輻輳が生じた場合は、新たな通信要求のある各端末ノードからの送信が不可の状態となる。この場合、時間をおいての再度通信要求を行い、輻輳がなくなっていれば要求が受け入れられ通信が可能となる。この場合は輻輳が生じたとしても輻輳発生以前から通信していた端末は通信は可能であるが、呼受け付け制御が複雑である。

【0006】次にパケット網においては、輻輳が生じて各端末ノードからは、そのパケットの送出は可能であるが、輻輳によって溢れたパケットは廃棄処分となる。このため、送信ノードに廃棄通知が行われ、さらに再送がされるという状態となり、実質的に通信ができない状態となる。

【0007】このため、パケット網においては、輻輳対策としてトラヒックの輻輳が検出されると、送信ノードに対して発信規制を行って、その送信を停止する方法がある。この方法による輻輳回避の原理を図1に示す。この方法は、受信ノード（または中継ノード）からの輻輳通知によって送信ノードからのセルの送信を停止する方法である。

【0008】しかし、この方法は、端末ノードのバッファ量が小容量である場合、パケットの廃棄が生じる問題がある。また、具備したバッファが小容量である場合には送信停止時間が長くなる問題がある。また、網の効率的運用を行うためには大容量のバッファが必要となり、網全体としての効率が悪化し、システム全体の費用を押し上げる原因となる。また十分に余裕のある網を構成することにより輻輳を起こさないような方法が考えられる。しかし、十分な余裕のある網を構成することは、通常使用されない装置、例えば中継ノードや端末ノードに十分な大きさのバッファを設けることになり、効率が悪くなる。

【0009】さらに、パケット網での輻輳制御方法とし

て、パケット転送中の短い時間を切り取って、そのパケット転送量を監視して、輻輳が生じているか否かを判断してパケット転送を制御する方法がある（これをウインドウフロー制御という）。この技術は特開平3-174848号公報に記載されている。この方法による輻輳回避の原理を図2に示す。この方法では、送信ノードにおいて、往復遅延時間を測定し、往復遅延時間が減少している場合は、網が高負荷状態ではないことが予測されることから、送信側の送信許可量を増加させ、往復遅延時間が増加している場合は、網が高負荷状態であることが予測されることから、送信側の送信許可量を減少させることにより、パケットの発信を停止させる方法である。

【0010】しかし、このウインドウフロー制御では、各ノードに具備したバッファが小容量である場合にはパケットの廃棄が生ずる問題がある。また遅延時間による網状態の予測が実際の状態と一致しない場合がある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】この輻輳検出に係る従来の問題点を挙げると、従来の輻輳の検出は現時点での伝送路の状況を判断しているため、いわば輻輳状態になって輻輳を検出しており、現時点でのパケット通信速度に基づいて未来の時点におけるパケット通信の輻輳を予測して輻輳を防止するものではなかった。

【0012】また、従来の輻輳検出のためのパケット転送速度の検出は、多数の信号発生源からのパケットを多重する場合においては、パケット通信速度を予測するために分布関数モデルに基づいてパケット通信速度を予測しており、信号発生源のパラメータが時間経過に対して変化する場合には対応できなかった。このため、未来の所定時間後のパケット転送速度を予測して輻輳が発生することを検出するものではなかった。

【0013】本発明の目的は、パケット網の輻輳回避に、パケット通信速度の増加の程度を表す値として加速度または加速比率という概念を持ち込み、この概念に基づいてパケット網のパケット通信を制御することによりパケット廃棄が生じないパケット網を提供することにある。

【0014】また本発明の目的は、バッファが小容量のものでも高スループットが達成できるパケット網を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の第一の観点は、パケット通信速度の増加の程度を表す値に基づいて輻輳回避を行うパケット網に係るものであり、送信ノードと受信ノードとの間で中継ノードを介してパケットの送受が行われるパケット網で、前記送信ノードに許容されるパケット通信速度に上限が設けられたパケット網において、前記送信ノードのパケット通信速度の増加の程度を表す値に上限が設定されたことを特徴とする。

【0016】このパケット通信速度の増加の程度を表す

値としては、パケット通信速度の時間変化率である加速度、あるいは、パケット通信速度の時間変化比率である加速比率を用いることができる。

【0017】また、このパケット網の送信ノードのパケット通信速度には下限もしくは開始速度（初速度）を設けることもできる。

【0018】パケット網の中継ノードまたは受信ノードは、通過しているパケットのパケット通信速度または到来しているパケットのパケット通信速度と、前記パケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値に基づいて  $t$  秒後のパケット通信速度を予測する手段を備えることができる。

【0019】この中継ノードまたは受信ノードは、予測されたパケット通信速度に基づいて輻輳が生じることを予測する手段を備えることができる。

【0020】また中継ノードまたは受信ノードは、輻輳が予測される場合に送信ノードに輻輳を通知する手段を備えることができる。

【0021】本発明の第二の観点は、パケット通信速度の予測と輻輳予測に係るものであり、伝送路を転送されるパケットの宛先アドレスもしくは回線番号あるいは経路識別番号ごとにパケット通信速度の増加の程度を表す値に上限が規定されているパケット網に設けられ、現在\*

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t)) + \sum_{j=1}^s V I_j$$

但し  $V I_j$  : 各送信ノードの開始速度（初速度）、 $S$  : 全送信ノード

（なお、送信ノードのパケット通信速度に下限を設ける場合は第2項はない）で演算して求める手段を備えることができる。

【0026】本発明の第三の観点は、混雑予知信号に基づく送信ノードでのパケット送出制御に係るものであり、受信ノードと中継ノードを介してパケットの送受を行い、その送出するパケットの許容パケット通信速度に上限が設けられたパケット網の送信ノードにおいて、上記パケット上限通信速度の範囲内の、所定値以下のパケット通信速度の増加の程度を表す値の通信速度でパケットを送信する手段と、中継ノードまたは受信ノードから輻輳が生ずる旨の混雑予知信号を受信するとパケット通信速度を低減する手段とを備えたことを特徴とする。

【0027】輻輳が予測される場合の混雑予知信号の到来に代え、中継ノードまたは受信ノードからのパケット通信速度の増加要求の到来がないことよりパケット通信速度を低減する手段を備えることができる。

【0028】混雑予知信号を受信すると、その時点におけるパケット通信速度に対応するパケット転送間隔の  $k$  ( $k > 1$ ) 倍の転送間隔でパケットを送信する手段を備えることができる。また、混雑予知信号を受信すると、その時点におけるパケット通信速度より一定の比率また

\*の到来しているパケット通信速度を検出する手段と、この検出したパケット通信速度と、前記規定されたパケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値とに基づいて  $t$  時間後の最大パケット通信速度を予測する手段とを備えたことを特徴とする。

【0022】この最大パケット通信速度を予測する速度予測手段は、規定されたパケットの加速度の上限を  $\alpha_i$  ( $i = 1 \sim m$ ) とし、現在のパケットの合計速度を  $V_\Sigma$  とすると、 $t$  時間後の最大パケット通信速度  $V(t)$  を

【0023】

【数4】

$$V(t) = V_\Sigma + \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot t$$

で演算して求める手段を備えることができる。

【0024】また、速度予測手段は、規定されたパケットの加速比率の上限を  $\exp(\beta)$  とし、伝送路を  $n$  グループに分け、各グループごとに、当該グループ内の最大加速比率係数  $\beta_i$ 、最大加速比率  $e^{\beta_i}$  ( $i = 1 \sim n$ ) と各グループ毎の現在のパケット通信速度の  $V_{G1} \sim V_{Gn}$  から、 $t$  時間後の最大パケット通信速度  $V(t)$  を

【0025】

【数5】

は一定の指数比率でパケット通信速度を減少させた速度でパケットを送信する手段を備えることができる。

【0029】受信した混雑予知信号に基づいて、パケット通信速度を低減するパケット送信制御回路を備えることができる。

【0030】このパケット送信制御回路は、パケット送信間隔が指数関数的に短くなる時間経過をアドレスとして有するパケット送信間隔時間テーブルを備え、このテーブルを用いてパケット送出を行うことができる。また、パケット送信制御回路は、規定されたパケット通信速度に上昇すると、この規定されたパケット通信速度に対応する時間経過アドレスまで戻り、そこから再びテーブルのパケット送出間隔時間を用いてパケットの送出を行うことができる。また、パケット送信制御回路は、網からの混雑予知信号を受信すると、前記テーブルの時間経過のアドレスから一定数または一定比率減少したアドレスへ戻ってパケット送出を行うことができる。

【0031】本発明の第四の観点は、パケット網における輻輳回避方法に係るものであり、送信ノードと受信ノードとの間で中継ノードを介してパケットの送受が行われ、前記送信ノードに許容されるパケット通信速度に上限が設けられたパケット網における輻輳回避方法において、前記送信ノードは、許容パケット通信速度の範囲内でかつパケット通信速度の増加の程度を表す値の上限の

範囲内でパケットを送出し、前記中継ノードまたは受信ノードは、通過しているパケットのパケット通信速度または到来しているパケットのパケット通信速度と、前記パケット通信速度の増加の程度を表す値の上限値に基づいて $t$ 時間後のパケット通信速度を予測し、輻輳が予測される場合には輻輳が予知される旨を前記送信ノードに通知し、前記送信ノードはこの輻輳が予知される旨の通知を受信すると、その時点におけるパケット通信速度を低減することを特徴とする。

【0032】このパケット通信速度の増加の程度を表す値は加速度であることができ、また加速比率であることができる。

【0033】送信ノードは、輻輳が予知される旨の通知を受信すると、パケット通信速度を一定値減少させることができる。またパケット通信速度を一定比率または一定指数比率減少させることができる。

【0034】さらに輻輳が予知される旨の通知は、パケット通信速度の増加要求信号を送信ノードに伝送しないことにより行うことができる。

【0035】なお、送信ノードのパケット通信速度には下限または初速度を設けることができる。

【0036】

【作用】本発明でのパケット網の送信ノードからのパケットの送出には、最大許容パケット通信速度ならびに零以上の最小パケット通信速度が定められており、これとは別に最大パケット通信速度に達するまでパケット通信速度を増加させる程度を表す値として、速度増加率すなわち加速度、あるいは速度増加比率すなわち加速比率の上限が設けられている。各送信ノードは、この加速度または加速比率の範囲内で、パケット通信速度を最大許容パケット通信速度まで増大させることができる。

【0037】将来の輻輳発生を検出は、例えば加速度の上限値が $\alpha$ である場合、現在のパケット通信速度を $V$ とすると、 $t$ 時間後のパケット通信速度を $V(t) = V + \alpha \cdot t$ の式で求めることができ、この予測したパケット通信速度により、輻輳が予知されるか否かが判断できる。この予測に基づいて、中継ノードまたは受信ノードは、輻輳が予知される場合には混雑予知信号を送信ノードへ送信する。

【0038】そして、送信ノードは、パケット網の中継ノードあるいは受信ノードから、輻輳が予知される旨の混雑予知信号を受信すると、パケット通信速度を低減する。なおこの混雑予知信号に代えて、速度増加要求信号表示を消去することにより、輻輳予知を送信ノードに通知して、送信ノードのパケット通信速度を低減することもできる。

【0039】パケット送出制御は、この混雑予知信号の到来あるいは速度増加要求信号が到来しないことで、送信ノードにおいて、伝送路へ送出するパケットのパケット通信速度を制御する。このパケット送出制御では、パ

ケット通信速度を指数関数的に増加することができるように、パケット送出間隔が指数関数的に減少するように設定したパケット送出間隔時間テーブルを設け、このテーブルにアクセスすることで指数関数的に増大するパケット通信速度を得ることができる。そして、最高速度に達した場合にはその速度を維持するようにテーブルのアクセスを制御し、また混雑予知を受けたときには、一定比率あるいは一定数のアドレス値を減少したアドレスのテーブルまで戻ることにより、送信ノードのパケット通信速度を低減するように制御する。

【0040】

【実施例】以下図面に基づいて、本発明の実施態様を説明する。

【0041】図3は、本発明が適用される網形態の一例を示すものであり、伝送路1によって相互に接続された中継ノード装置2と、この中継ノード装置2のそれぞれに収容されるパケット端末装置3により構成されている。

【0042】このパケット網を一つの中継ノード装置2に着目して簡略化して表すと図4のように中継ノード装置2を介して送信パケット端末装置と受信パケット端末装置とが接続された形態に簡略化できる。このように一つの中継ノード装置2に網を簡略化しても輻輳回避動作のその一般性は失われない。すなわちLANのメディアアクセス制御（たとえば、イーサネット、トークンバス、FDDI、DQDB）のようなトポロジー制限がない。

【0043】（実施例1）パケット転送速度の加速度を用いてパケット転送の制御を行う例を以下に示す。

【0044】図4に表された構成に基づいた送信側のパケット端末装置（以下送信パケット端末装置3として説明する）3、中継ノード装置2とから構成される輻輳回避法の構成を図5に示す。なお、受信側端末装置の構成は送信側と対称となるので省略する。

【0045】中継ノード装置2は、バッファメモリ21および混雑予測回路25を有する。また、送信パケット端末装置3は、パケット組立回路31、バッファメモリ32、パケット分解回路34を有し、さらにバッファメモリ32からのパケット送出を制御するパケット流制御回路35と、中継ノード装置2から送出された混雑予知信号を受信し、それをパケット流制御回路35に通知する混雑予知信号受信回路39とを備えている。

【0046】送信するデータは、パケット組立回路31でパケット化され、バッファメモリ32に送られる。バッファメモリ32内のパケットは、パケット流制御回路35の制御によって所定の低速パケット転送速度（初速度）に対応するパケット転送間隔で、パケット伝送路11への送出が開始される。パケット流制御回路35は、時間経過につれて最大パケット転送速度に達するまで、単位時間当たりのパケット転送増加量、すなわちパケッ



ト転送速度の加速度を規定された所定値以下に保ちながらパケット転送間隔を短縮させていく。また、混雑予知信号受信回路39が混雑予知信号を受信した場合には、その時点におけるパケット転送速度に対応するパケット転送間隔の $k$  ( $k > 1$ ) 倍の転送間隔になるようにパケット転送速度を減少させ、再び加速度を規定値以下に保ちながらパケット転送速度を増加させる。

【0047】ここで、パケット転送速度の算出方法の一例を示す。零以上の最小パケット転送速度(初速度)を\*

$$\alpha = v_{\max} / T$$

$$p_{\text{nov}} = L / (\alpha t_{\text{nov}}) \quad (v_{\min} \cdot T / v_{\max} \leq t_{\text{nov}} \leq T) \quad \dots(2)$$

$$p_{\text{nov}} = L / v_{\max} \quad (t_{\text{nov}} > T) \quad \dots(3)$$

$$v_{\text{nov}} = L / p_{\text{nov}} \quad \dots(4)$$

となる。この $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ 、 $v_{\text{nov}}$ 、 $\alpha$ 、 $T$ 、 $t_{\text{nov}}$ 、 $t_0$ の関係を図6に示す、横軸はパケット転送速度増加時間内における経過時間であり、縦軸はパケット転送速度である。

【0048】混雑予知信号受信時には、 $t/k$  ( $k > 1$ ) を新たに現在の経過時間 $t$  ( $t$ が $t_0$ 以下の場合は $t_0$ に切り上げ)として、(1)～(4)式によりパケット転送間隔 $p$ を求める。ただし、この場合においても $t$ の最大値は $T$ である。これは現在のパケット転送速度を $1/k$ にするものである。特開平3-174848号公報にその方法が示されている。

【0049】パケット網の各中継ノード装置2では、パケット伝送路の混雑状況について、混雑予測回路25が監視しており、これにより輻輳が予測された場合には混雑予知信号として逆方向のパケット伝送路11を介して、このパケット伝送路を使用する送信パケット端末装置に送出される。なお、単位時間におけるパケット数、後述するスライディングウィンドウ単位時間におけるパケット数としてもよい。また、一次または高次のリカーシブフィルタ(reursive filter)で実現できる平均値検出法において実施してもよい。

【0050】閾値 $V_{th}$ は、送信パケット端末装置3と中継ノード装置2との間の最大往復遅延時間以上の時間 $2D$ と、送信パケット端末装置3における加速度 $\alpha$ 、パケット伝送路11を使用するパケット端末装置数 $n$ とを乗じた積( $2D \times \alpha \times n$ )に、そのパケット伝送路11の現在のパケット転送速度 $V_{\text{nov}}$ を加えた値が許容パケット転送速度 $V_{\max}$ と等しくなる

$$2D \times \alpha \times n + V_{\text{nov}} = V_{\max}$$

固定パケット長 $L$

パケット伝送路速度(パケット転送速度)

混雑中継ノード装置を使用するパケット端末装置数 $n$

送信パケット端末装置の最小パケット転送速度 $A$ (初速度)

送信パケット端末装置の最大パケット転送速度 $v_{\max}$

送信パケット端末装置のパケット転送速度増加時間 $T$

送信パケット端末装置のパケット転送増加率(加速度: $\alpha$ )

\* $v_{\min}$ (bit/sec)、最大パケット転送速度を $v_{\max}$ (bit/sec)、加速度を $\alpha$ (bit/sec<sup>2</sup>)、固定パケット長を $L$ (bit)、最小パケット転送速度に対応するオフセット時間を $t_0$ 、オフセット時間を含む最小パケット転送速度から最大パケット転送速度までのパケット転送速度増加時間を $T$ (sec)、パケット転送速度増加時間内におけるオフセット時間を含む現在の経過時間を $t_{\text{nov}}$ (sec)とすると、現時点におけるパケット転送間隔 $p_{\text{nov}}$ (sec)と、パケット転送速度 $v_{\text{nov}}$ (bit/sec)は、

$$\dots(1)$$

$$\dots(2)$$

$$\dots(3)$$

$$\dots(4)$$

となる場合、 $V_{th} \leq V_{\text{nov}}$ となるように設定する。

【0051】ここで、送信パケット端末装置3から出力される単位時間当たりのパケット流量と、中継ノード装置2へ入力される単位時間当たりのパケット流量との関係を図7に示す。ここで、送信パケット端末装置3と中継ノード装置2との間の伝送遅延時間を $D$ とする。中継ノード装置2は時刻 $b$ で混雑を予測し、混雑予知信号を送信パケット端末装置3へ送出する。送信パケット端末装置3は、その $D$ 時間後の時刻 $c$ で混雑予知信号を受信し、パケット転送速度を $1/k$  ( $k > 1$ )に減速する。中継ノード装置2では、混雑予知信号を送出してから $2D$ 時間後の時刻 $d$ にパケット転送速度が低下する。したがって、時刻 $b$ から時刻 $d$ までの間でバッファ溢れが生じないように、伝送遅延時間 $D$ およびパケット端末装置数 $n$ を考慮し、送信パケット端末装置3における上限加速度 $\alpha$ 、閾値、混雑予知信号の送出最小周期を選択する必要がある。

【0052】混雑予知信号により現在のパケット転送間隔を $k$ 倍する方法は、パケットを送出するすべてのパケット端末装置に対して公平に伝送路11を使用することを許容するものである。なお、混雑予知信号により現在のパケット転送速度を一定値減少させる方法は、そのパケット端末装置に対して伝送路11を優先的に使用することを許容するものである。

【0053】ここで、 $k=1.25$ とした場合の中継ノード装置10における輻輳回避のシミュレーション結果を図8に示す。なお、シミュレーションパラメータは以下の通りである。

【0054】

: 53バイト

: 150 Mbit/sec

: 100

: 300 Kbit/sec

: 15 Mbit/sec

: 250 msec

: (加速度: $\alpha$ )

往復遅延時間2D

閾値(単位時間1msecのスライディングウィンドウ

における平均パケット転送速度) $V_{th}$

混雑予知信号の送出最小周期

: 58.8Mbit/sec<sup>2</sup>

: 2msec

: 150 × 0.85Mbit/sec

: 4.5 msec

図中gは、100パケット時間(0.282msec)ごとに観測した中継ノード装置2のバッファメモリ21への入力パケット量をパーセント表示したものであり、fはバッファメモリ21の最大Q長をパケット数表示したものであり、eは混雑予知信号の発生時刻を表示したものである。バッファ容量が40パケット分程度あれば、パケット廃棄を回避できるとともに、スループットが0.9程度確保できることがわかる。

【0055】(実施例2)次にパケット転送速度の加速比率を用いてパケット転送の制御を行う構成を図5および図9を参照して説明する。

【0056】ここで、中継ノード装置2の混雑予測回路25は、送信パケット端末装置3と中継ノード装置2との間の最大往復遅延時間以上の時間2Dと、加速比率係数 $\beta$ (加速比率 $e^\beta$ )と、パケット伝送路の現在のパケット転送速度 $V_{nov}$ とを乗じた値( $2D \times \beta \times V_{nov}$ )に、前記 $V_{nov}$ を加えた値もしくは $V_{nov} \times \exp(\beta \cdot 2D)$ が許容パケット転送速度 $V_{max}$ を越す場合に、輻輳\*

$$V_{nov} = A \times \exp(\beta \times t_{nov}) \quad \dots(5)$$

$$p_{nov} = L / V_{nov} \quad \dots(6)$$

$$\beta = (1/T) \log(V_{max} / A) \quad \dots(7)$$

となる。

【0059】また、現時点 $t_{nov}$ から $\delta t$ (sec)時間後※

$$\begin{aligned} V_{up} &= A \times \exp(\beta \times (t_{nov} + \delta t)) = V_{nov} \cdot \exp(\beta \cdot \delta t) \\ &\approx V_{nov} (1 + \beta \cdot \delta t) \dots (\beta \cdot \delta t \ll 1) \\ &= V_{nov} + V_{nov} \times \beta \times \delta t \end{aligned} \quad \dots(8)$$

となる。したがって、現時点における加速度は、

$$V_{nov} \times \beta \times \delta t / \delta t = V_{nov} \times \beta \text{ (bit/sec}^2\text{)}$$

となり、現時点におけるパケット転送速度に比例する。

【0060】混雑予知信号を受信すると、 $y \times t_{nov}$ ( $y \star$

$$\begin{aligned} V_{down} &= A \times \exp(\beta \times y \times t_{nov}) \\ &= A \times (\exp(\beta \times t_{nov}))^y \\ &= A \times (V_{nov} / A)^y \end{aligned} \quad \dots(9)$$

を求めればよい。これは一定指数比率低減法に相当し、単に $(V_{nov})^y$ として速度低減してもよい。

【0061】閾値 $V_{th}$ は、送信パケット端末装置3と中継ノード装置2との間の最大往復遅延時間以上の時間2Dと加速比率係数 $\beta$ (加速比率 $e^\beta$ )と、パケット伝送☆

$$V_{nov} = V_{max} / (1 + \beta \cdot 2D) \quad \dots(10)$$

とした場合に、 $V_{th} \leq V_{nov}$ となるように設定する。

【0062】ここで、送信パケット端末装置3から出力されるパケット流量と、中継ノード装置2へ入力されるパケット流量との時間関係を図9に示す。送信パケット端末装置3と中継ノード装置2との間の伝送遅延時間をDとする。なお、この伝送遅延時間Dには中継ノード装

\*予知として検知する。

【0057】混雑予知信号受信回路39が混雑予知信号を受信した場合、その時点におけるパケット転送速度 $V_{nov}$ を最小パケット転送速度Aで除算した値( $V_{nov} / A$ )を定数 $y$ ( $y < 1$ )乗し、さらに最小パケット転送速度Aを乗じた値( $A \times (V_{nov} / A)^y$ )に対応するパケット転送間隔に設定して、パケット転送速度を減少させる。

【0058】ここで、パケット転送速度の算出方法の一例を示す。最小パケット転送速度(初速度)をA(bit/sec)、最大パケット転送速度を $V_{max}$ (bit/sec)、加速比率係数を $\beta$ (1/sec)、最小パケット転送速度から最大パケット転送速度までのパケット転送速度増加時間をT(sec)、固定パケット長をL(bit)、パケット転送レート増加時間内における現在の時間経過時間を $t_{nov}$ (sec)とすると、現時点におけるパケット転送間隔 $p_{nov}$ (sec)と、パケット転送速度 $V_{nov}$ (bit/sec)は、

※のパケット転送速度 $V_{up}$ (bit/sec)は、

★ $< 1$ を新たに現在の経過時間 $t_{nov}$ として、(5)式により減少したパケット転送速度 $V_{down}$ (bit/sec)を求めるか、

☆路の現在のパケット転送速度 $V_{nov}$ を乗じた値に $V_{nov}$ を加えた値( $V_{nov} + V_{nov} \cdot \beta \cdot 2D$ )または $V_{nov} \cdot \exp(\beta \cdot 2D)$ が許容パケット転送速度 $V_{max}$ に等しいとした場合に、すなわち

置2における遅延ゆらぎも含まれているものとする。中継ノード装置2は閾値に相当するパケット転送速度の時刻bで混雑を予知し、混雑予知信号を送信パケット端末装置3に送出する。送信パケット端末装置3は、そのD時間後の時刻cで混雑予知信号を送出してからD時間後にパケット転送速度を下げ、中継ノード装置2では混雑

予知信号を送出してから2D時間後の時刻dにパケット転送速度が下がる。したがって、時刻bから時刻dまでの間にバッファ溢れが生じないように、伝送遅延時間Dおよび混雑予測時間を考慮し、送信パケット端末装置3におけるパケット転送加速比率を決定するための係数 $\beta$ 、および混雑予知信号受信時のパケット転送速度を減少させるための係数 $\gamma$  ( $\gamma < 1$ )、閾値 $V_{th}$ 、混雑予知信号の送出最小周期を選択する必要がある。

【0063】このパラメータの設定方法について説明す\*

$$V_{now} = \sum_{i=1}^n V_{now, i} \quad \dots (11)$$

となる。また、現時点より $T_p$ 時間後に着目するパケット転送路で予測されるパケット転送速度 $V_{up}$ は、

$$V_{up} = \sum_{i=1}^n V_{now, i} \cdot \exp(\beta \times T_p) = V_{now} \cdot \exp(\beta \times T_p) \\ \approx V_{now} \times (1 + \beta \times T_p) \quad \dots (\beta \cdot T_p \ll 1) \quad \dots (12)$$

となる。

【0067】このように、 $V_{up}$ は注目するパケット伝送路を使用中の送信パケット端末装置数を知ることなく予測することができる。ただしパケット転送を開始した直後の送信パケット端末装置が送出するパケット量は、中継ノード装置で予測できないが、そのパケット量は少ないので無視することができる。また、無視できない場合には、それに対して一定のパケット転送速度をオフセット値として確保し、閾値 $V_{th}$ を設定すればよい。したがって、 $T_p = 2D$ とし、 $V_{up} = V_{max}$ とすれば、(10)、

(12)式より閾値 $V_{th}$ を使用中端末数に無関係に決定することができる。

【0068】この実施例の場合、送信パケット端末装置が中継ノード装置より混雑予知信号を受信すると、その時点におけるパケット転送速度が大きい程、大きくパケット転送速度を下げる。このため、中継ノード装置において、ある時間以上パケット伝送路の混雑が続けば、使

する。

【0064】いま、N個の送信パケット端末装置が注目するパケット伝送路を使用中であり、パケット端末装置 $i$  ( $i = 1 \sim n$ )の現時点でのパケット転送速度を $V_{now, i}$ とすると、注目するパケット伝送路で観測されるパケット転送速度 $V_{now}$ は、

【0065】

【数6】

※【0066】

※【数7】

用中の送信端末装置のパケット転送速度はすべてほぼ等しくなる。したがって、使用中の送信パケット端末装置に対して公平性を確保することができる。なお、混雑予知信号受信時に一定比率パケット転送速度を減少すれば、そのパケット送信端末に対して網使用の優先権を与えることができる。これは、式(5)において、現在の経過時間 $t_{now}$ から一定時間 $t$ を減じた時を新たな経過時間としてパケット転送速度を求めても同じことになる。

【0069】ここで、減速係数 $\gamma = 0.87$ とした場合の中継ノード装置2および送信パケット端末装置3における混雑回避のシミュレーション結果を図10、図11に示す。なお、シミュレーションパラメータは以下の通りである。ただし、各送信パケット端末装置3と混雑中継ノード装置2との往復遅延時間は2msecから3msecの間に一様に分布しているものとする。

【0070】

固定パケット長L	: 53バイト
パケット伝送路速度(パケット転送速度)	: 150 Mbit/sec
混雑中継ノード装置を同時使用可能な送信パケット端末装置数n	: 100
送信パケット端末装置の最小パケット転送速度A(初速度)	: 300 Kbit/sec
送信パケット端末装置の最大パケット転送速度 $V_{max}$	: 15 Mbit/sec
送信パケット端末装置のパケット転送速度増加時間T	: 100 msec
送信パケット端末装置の加速比率係数 $\beta$	: 39.12(1/sec)
送信パケット端末装置の加速比率 $\exp(\beta)$	: $9.76 \times 10^{16}$
往復遅延時間2D	: 2 msec ~ 3 msec
閾値(単位時間1msecのスライディングウィンドウにおける平均パケット転送速度) $V_{th}$	: $150 \times 0.85$ Mbit/sec
混雑予知信号の送出最小周期	: 4.5 msec

図10は、多数の送信パケット端末装置3が、一斉にパケット転送を開始した場合において、混雑中継ノード装置2のパケット転送速度およびバッファメモリの最大Q長の時間推移を1000パケット(2.82msec)ごとに観測した結果である。図中fはパケット転送中の送信パケット端末装置数、gは観測時間間隔内におけるバッファメモリの最大Q長であり、eは混雑中継ノード装置のバッファ入力におけるパケット転送速度をパケット転送速度150 Mbit/secを基準にパーセント表示したものであり、hは混雑予知信号の発生時刻を示したものである。本シミュレーションにより、多数の送信パケット端末装置3が一斉にパケット転送を開始した場合でも、少ないバッファ量でバッファ溢れがなく安定に混雑回避が行われていることがわかる。

【0071】図11は、100の送信パケット端末装置3が混雑中継ノード2のパケット伝送路を使用中である場合において、混雑回避の様子を100パケット(0.282 msec)ごとに観測した結果である。図中kは観測時間におけるスライディングウィンドウ出力の最大値をパーセント表示したものであり、e、h、gは図10と同様である。本シミュレーションにより、スライディングウィンドウ出力が閾値を越えた時点で混雑予知信号が発生し、混雑回避が行われていることがわかる。

【0072】(実施例3)次にパケット網が可変速度端末装置および固定速度端末装置を収容するパケット多重統合網の混雑回避法について説明する。

【0073】図12は、パケット多重統合網内の一つの中継ノード装置20、一つの変速度端末装置30および一つの固定速度端末装置40を示す。ここで、中継ノード装置20は、パケット多重統合網内で伝送路11を介してメッシュ状に相互接続される。可変速度端末装置30および固定速度端末装置40は、それぞれ対応する中継ノード装置20に伝送路11を介して接続され、その間に設定される1:1、1:N、N:1、N:Mのバスは、中継ノード装置20を介して双方向接続される。ただし1:1接続以外のバスは、中継ノード装置20で分岐・合流接続が行われる。

【0074】図12において、可変速度端末装置30は、パケット送信を行うパケット組立回路31およびバッファメモリ32と、パケット受信を行うバッファメモリ33およびパケット分解回路34と、パケット流制御回路35と、バッファ量検出回路36と、速度増加要求表示送信回路37と、速度増加要求表示受信回路38とにより構成される。

【0075】固定速度端末装置40は、パケット送信を行うパケット組立回路41およびバッファメモリ42と、パケット受信を行うバッファメモリ43およびパケット分解回路44と、パケット流制御回路45とにより構成される。

【0076】中継ノード装置20は、双方向でパケット

の中継を行うバッファメモリ21、22および経路選択回路23、24と、混雑予測回路25、26と、速度増加要求表示消去回路27、28とにより構成される。

【0077】次に図12に示す実施例での動作を説明する。

(1) 可変速度端末装置30と対向装置との間にバスが設定されているときの通信動作

① 可変速度端末装置30の動作

可変速度端末装置30に入力された情報は、パケット組立回路31でパケット化されてバッファメモリ32に蓄積される。パケット流制御回路35はバッファメモリ32を制御し、所定のパケット転送速度でパケットを伝送路11に送出する。

【0078】一方、伝送路11から到着したパケットはバッファメモリ33に蓄積され、パケット分解回路34で元の情報に復元して出力される。このとき、バッファ量検出回路36はバッファメモリ33のバッファ量を検出し、溢れるおそれがない所定値以下であれば速度増加要求表示送信回路37を動作させる。

【0079】速度増加要求表示送信回路37は、バッファメモリ33のバッファ量が所定値以下であれば、所定の時間間隔以下で速度増加要求表示を含むパケットを繰り返し伝送路11に送出する。この速度増加要求表示を含むパケットとしては、速度増加要求表示をもつ新たなパケットを発生させるか、あるいはバッファメモリ32から送出されるパケットの一部に速度増加要求表示領域を設け、そこに速度増加要求表示をしたパケットが用いられる。なお、後者の場合でも、所定の時間間隔を経過しても送出パケットがなければ、速度増加要求表示をもつ新たなパケットを発生させる。

【0080】このように、可変速度端末装置30は、通常は所定の時間間隔以下で速度増加要求表示を含むパケットを送出する。一方、バッファメモリ33が溢れる状態になってくれば、バッファ量検出回路36が速度増加要求表示送信回路37の動作を停止し、この速度増加要求表示を含むパケットの送出を停止することによって送信側の可変速度端末装置30にその旨を通知する。

【0081】速度増加要求表示受信回路38は、到着パケットを監視し、所定の時間間隔以下で速度増加要求表示を含むパケットが受信されていれば、パケット流制御回路35が行うパケット転送速度制御を維持する。また、速度増加要求表示を含むパケットが所定の時間間隔を越えても受信されなければ、輻輳の可能性があることを認識し、パケット流制御回路35に対してその時点のパケット転送速度を低減させる制御を行う。

【0082】② 中継ノード装置20の動作

中継ノード装置20では、各端末装置からのパケットが伝送路11を通してバッファメモリ21、22に入力し、蓄積される。混雑予測回路25は、バッファメモリ21に入力される合計パケット転送速度あるいはパケッ

ト量、もしくはバッファメモリ21の出力パケット量を検知し、輻輳が予測される場合には速度増加要求表示消去回路28を起動する。また、同様に混雑予測回路26は速度増加要求表示消去回路27を起動する。速度増加要求表示消去回路27、28は、混雑予測回路25、26の起動制御によって対応するパスや伝送路の逆方向の速度増加要求表示を含むパケットを消去する。この消去法としては、速度増加要求表示のみをもつ新たなパケットに対してはそれを消去し、パケットの一部に速度増加要求表示がされたパケットに対してはその表示のみを消去する。

【0083】中継ノード装置20における輻輳の予測では、安全側の予測として最速の可変速度端末装置30と中継ノード装置20間の往復遅延時間2d後を予測する必要があるが、これについては後述する。なお、この往復遅延時間2dには、混雑予測回路25の検知からパケット流制御回路35によってパケット転送速度が低減されるまでの制御遅れ時間と、経由する中継ノード装置のバッファメモリその他での遅延時間が含まれる。

【0084】バッファメモリ21、22から出力され、速度増加要求表示消去回路27、28を通過したパケットは、それぞれ経路選択回路23、24で出力パスが選ばれて伝送路11に送出される。

【0085】このように、可変速度端末装置30間にある中継ノード装置20で輻輳が予測された場合には、輻輳に関係するパス・伝送路の速度増加要求表示を消去することにより、送信側の可変速度端末装置30にその旨を通知することができる。すなわち、送信側の可変速度端末装置30では、速度増加要求表示を含むパケットが所定の時間間隔を越えても受信されなくなるので輻輳の可能性があると認識でき、その時点のパケット転送速度を低減させることによって中継ノード装置20での輻輳を回避することができる。

【0086】(2) 固定速度端末装置40と対向装置との間にパスが設定されているときの通信動作

固定速度端末装置40間のパスは、そのパスの伝送路に対して固定速度サービスに割り当てた比率F以下の場合に設定可能とし、パケット多重統合網内にその容量を確保する。これをすべての固定速度端末装置40間のパス設定割り当て基準とする。したがって、新たな固定速度端末装置40間のパス設定で、その設定パスのいずれかの伝送路に固定速度サービスを割り当てた比率F以上の箇所があれば、その比率F以下となるパスを新たに探すか、パス設定不可とする。このような制限により、パケット多重統合網内での固定速度情報が占有する上限を比率F以下にすることができる。そして、すくなくとも $(1-F)$ を可変速度情報の通信に割り当てることができる。

【0087】① 固定速度端末装置40の動作

固定速度端末装置40に入力された情報は、パケット組

立回路41でパケット化されてバッファメモリ42に蓄積される。パケット流制御回路45はバッファメモリ42を制御し、所定のパケット転送速度でパケットを伝送路11に送出する。なお、最大パケット転送速度は、バス設定時に確保したパケット転送速度である。

【0088】一方、伝送路11から到着したパケットはバッファメモリ43に蓄積され、パケット分解回路44で元の情報に復元して出力される。

【0089】② 中継ノード装置20の動作

中継ノード装置20の動作は、可変速度端末装置30に対するものと同様であるが、混雑予測回路25、26および速度増加要求表示消去回路27、28の動作は固定速度端末装置40には無関係である。

【0090】このように、固定速度端末装置40には、可変速度端末装置30に備えられていたバッファ量検出回路36、速度増加要求表示送信回路37および速度増加要求表示受信回路38がなく、パケット流制御回路45によってのみ送信制御が行われる。これは、固定速度端末装置40が網内の輻輳予測通知に対して影響されないことを示す。すなわち、固定速度端末装置40間の通信では、網内の状態とは関係なくパケット流制御回路45のみによってパケット転送速度が制御される。パケット廃棄なしに輻輳回避ができるためには、中継ノード装置20においてパケット転送速度の最大値を正確に予測する必要がある。このパケット転送速度の最大値を正確に予測するには、パケット転送速度の加速度または加速比率の上限により求めればよい。加速度を用いた場合には、端末装置数に依存した最大パケット転送速度増加分が予測でき、後者の加速比率を用いた場合には、端末装置数に依存しない最大パケット転送速度増加分が予測できる。

【0091】しかし、本実施例では、固定速度端末装置40がバス設定を行うときに確保した速度以下で、さらに固定速度端末装置40におけるパケット転送速度の増加が予想される。したがって、網内で輻輳が予測された場合には、可変速度端末装置30は固定速度端末装置40におけるパケット転送速度の増加分も含めて、パケット転送速度の低減を図らなければパケット廃棄が生ずるので、このパケット転送速度の低減量を明確にする必要がある。

【0092】次に図13～図16に示すグラフを参照して、輻輳回避に必要なパケット転送速度の低減量について説明する。

【0093】図13は、中継ノード装置20でパケット転送速度の予測に用いる固定速度サービスCBRと可変速度サービスVBRの各速度関係を示す図である。

【0094】図において、横軸Xは固定速度サービスの割合 $(CBR / (CBR + VBR))$ を示し、縦軸Sはスループットであり、Wは各伝送路11のパケット廃棄がない許容最大使用率である。なお、固定速度情報が占有

する上限をF以下にする固定速度サービスでは、 $0 \leq X \leq F < 1$ となる。

【0095】輻輳予測時に固定速度端末装置がパケット転送速度を低減しない条件で、 $X=F$ で許容最大使用率Wが増加しない条件を求める。すなわち、固定速度サービスCBRの速度 $B_c$ が $WX$ 、可変速度サービスVBRの速度 $B_v$ が $W(1-X)$ となる時点( $t=0$ )を予測し、それ以上の速度にならない条件を以下のようにして求める。

【0096】図14、図15は、固定速度サービスCBRおよび可変速度サービスVBRの各速度の時間変化(加速比率一定)を示す図である。図において、横軸 $t$ は時間であり、縦軸 $S$ はスループットである。2d時間(最遠の可変速度端末装置30と中継ノード装置20間の往復遅延時間)経過による加速比率は、それぞれ $\exp(2d \cdot Rc)$ 、 $\exp(2d \cdot Rv)$ である。 $Rc$ はCBR端末の加速比率係数、 $Rv$ はVBR端末の加速比率係数である。

【0097】ここで、2d時間経過後の固定速度サービスCBRの速度の増加分 $\delta Sc$ は、

$$\delta Sc = WX(1 - \exp(-2d \cdot Rc))$$

であり、2d時間経過後の可変速度サービスVBRの速度の増加分 $\delta Sv$ は、

$$\delta Sv = WX(1-X)(1 - \exp(-2d \cdot Rv))$$

である。また、 $t=0$ の合計速度が許容最大使用率Wとなるので、 $t=-2d$ 時点でパケット転送速度の低減ができる可変速度端末装置へその旨を通知する。この可変速度端末装置では、最大d時間遅れで速度増加要求表示を含むパケットが到着しないので、パケット転送速度をK倍( $0 < K < 1$ )して速度低減を行い、再び $\exp(2d \cdot Rv)$ の加速比率で送出し、 $t=0$ で $W(1-X)K$ とする。この経緯を図16に示す。

【0098】この図16に示すように、パケット転送速度の低減分 $\delta Sk$ は、

$$\delta Sk = WX(1-X)(1-K)$$

となり、2d時間後の固定速度サービスCBRおよび可変速度サービスVBRの各速度上昇分 $\delta Sc$ 、 $\delta Sv$ を吸収する。すなわち、

$$\delta Sk \geq \delta Sc + \delta Sv$$

とすればよい。

【0099】以上により、パケット転送速度の低減率Kが

$$0 < K \leq \exp(-2d \cdot Rv) - (1 - \exp(-2d \cdot Rc))X / (1-X)$$

を満たせば、 $t=0$ の合計速度が許容最大使用率Wとなることはない。なお、固定速度サービスCBRおよび可変速度サービスVBRの各速度の加速比率が小さい場合( $1 \gg 2d \cdot Rv > 0$ 、 $1 \gg 2d \cdot Rc > 0$ )は、近似的に

$$0 < K \leq 1 - 2d \cdot Rv - 2d \cdot Rc \cdot X / (1-X)$$

となり、固定速度サービスCBRの加速比率が可変速度サービスVBRに対して $X(1-X)$ 倍に拡大されることがわかる。よって、固定速度サービスCBRの加速比率を小さくすることにより、伝送路のパケット廃棄がない許容最大使用率の低下を少なくすることができる。

【0100】さらに、中継ノード装置20における $t=-2d$ 時点で、2d時間後の速度は(現在の速度) $\times$ (CBRとVBRの大きい方の速度増加比率)で最大速度の予測が可能である。

【0101】また、以上の説明は速度増加比率(加速比率)が一定の場合を示したが、速度増加率(加速度)が一定(CBR端末では $Rc$ 、VBR端末では $Rv$ )としても同様に説明することができる。例えば $Nc$ 個の固定速度端末装置の2d時間での速度増加分を $2d \cdot Rc \cdot Nc$ 、 $Nv$ 個の可変速度端末装置の2d時間での速度増加分を $2d \cdot Rv \cdot Nv$ 、可変速度端末装置の輻輳時のパケット転送速度の低減分を $L$ とする。この場合には、

$$L \geq 2d \cdot Rc \cdot Nc / Nv + 2d \cdot Rv$$

を満たせば、パケット転送速度の増加を抑えることができる。また中継ノード装置20における $t=-2d$ 時点で、2d時間後の速度は(現在の速度) $+$ (CBRとVBRの大きい方の速度増加率) $\cdot 2d \cdot (Nc+Nv)$ で最大速度の予測が可能である。

【0102】ところで、以上に示した実施例では、固定速度サービスと可変速度サービスの両サービスを提供するパケット多重統合網の混雑回避法を説明したが、可変速度サービスのみでもパケット廃棄のないサービスが可能である。さらに、上述の実施例で説明した混雑予知信号を端末装置に通知して混雑を回避する方法とは異なり、この実施例では網内で速度増加要求表示を含むパケットを廃棄するかその表示を消去しているため、網内の通信情報量を増加させないで混雑回避を実現することができる。

【0103】また、本実施例では、固定速度端末装置と可変速度端末装置が別装置としていたが、1つの装置で切り替えて使用するものであってもよい。例えば、あるパケット転送速度までは固定速度端末であり、それ以上は可変速度端末装置になる場合でも本実施例の適用は可能である。すなわち、あるパケット転送速度以下では、速度増加要求表示を含むパケットに対する動作を無視し、所定値以下の速度増加率(加速度)あるいは速度増加比率(加速比率)を有するパケット転送速度でパケットを送信し、それ以上の速度では可変速度端末として動作させればよい。

【0104】また、本実施例では、速度増加要求表示を含むパケットに対応する可変速度端末装置の速度低減動作は、各可変速度端末装置のパケット転送速度が公平とされない例であったが、上述の実施例に示す方法により各可変速度端末装置の網使用を公平にすることが可能である。また、パケット長は固定でも可変でもよい。ただ



し、中継ノード装置20での混雑予測を正確に行うためには固定長パケットがよいが、可変長パケットでも最大パケット長（パケット長分布がわかっている場合ではある危険率でのパケット長）を用いて混雑予測が可能である。

【0105】（パケット転送速度予測の実施例）次に中継ノード装置あるいは受信パケット端末装置の混雑予測回路25による輻輳予知について説明する。上述の実施例で説明したように、本発明では、混雑予測回路25において、あらかじめ定められたパケット転送速度の加速

度または加速比率の上限値に基づいて将来のパケット転送速度を予測し、そのパケット転送速度が許容速度を越え

ると予測された場合には、混雑予知信号を出力し、あるいは速度増加要求表示を消去する。

【0106】図17は、混雑予測回路でのパケット速度予測器を含む実施例の構成を示すものである。

【0107】本発明のパケット速度予測器53は、送信パケット端末装置に当たる複数の信号源50から送信されるパケットを多重化回路51で多重された後のパケット転送速度を測定する速度測定器54と上限加速度 $\alpha$ と

現在のパケット転送速度とからt時間後のパケット転送速度を予測する速度予測計算回路55とを備える。

【0108】このパケット速度予測器53でのパケット転送速度予測を説明する。まず、測定対象となる信号源50の各信号源は、それぞれ宛先アドレスあるいは回線番号あるいは経路識別番号ごとにパケットの速度時間変化率（加速度 $\alpha_i$ ）の上限が規定されている。信号源からの信号は多重化回路51で多重化されて多重化信号出力となる。この多重化信号出力は速度測定器54に

入力される。速度測定器54では、現在のパケット流の時間T(sec)当たりの全てのパケットの総ビット数P(bit)から、現在のパケット転送速度V = P/T (bit/sec)を測定できる。あるいはその他のパケット転送速度の測定方法として、パケット間隔を測定してもよい。測定されたパケット転送速度は速度予測計算回路55へ入力される。また、各信号源50の速度時間変化率の入力 $\alpha_i$ と、予測時間tが速度予測計算回路55へ入力される。この速度予測計算回路55はこの3つの入力に基づいてt時間後のパケット予測を行い速度予測出力として出力する。

【0109】この速度予測計算回路55での予測計算を説明する。各信号源50のt時間後の速度上昇が $\alpha \cdot t$ 以下に制限されているため、現在のパケット転送速度から $\alpha \cdot t$ を越えることはない。このため、信号源50の加速度制限値を $\alpha_1 \sim \alpha_n$ としたとき、最大の上昇分は

【0110】

【数8】

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot t$$

である。この値と現在のパケット転送速度 $V_\Sigma$ とを加えるとt時間後の最大速度予測値V(t)が

【0111】

【数9】

$$V(t) = V_\Sigma + \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot t$$

でパケット転送速度予測計算ができる。このt時間後の最大速度予測値V(t)と閾値である最大許容速度 $V_{max}$ とを比較することによりt時間後の輻輳を予測することができる。

【0112】このように、本発明では、各信号源50の最大加速度を制限したことで最大予測速度を越えないことを保証することができる。これは、従来の確率的な予測ではなく、決定論的に決めることができるため、輻輳を確実に回避することができる。

【0113】なお、この方法による最大速度予測は、信号源50の数mが小さいと問題は少ないが、mの数が増加すると、小さな加速度でも時間当たりの速度増加が大きくなる。これは、輻輳制御に遅れ、特に信号源への制御信号伝播時間、上述の実施例の遅延時間dが大きくなると、予測する時間が増加し、現在の速度 $V_{00}$ が零でも予測時間t後には装置処理速度信号もしくは伝送路速度の最大速度になるおそれがある。これはこの方法による速度予測が信号源数に依存していることに起因している。

【0114】次に信号源数に依存しない速度予測方法について図18を参照して説明する。図18は速度時間変化比率（加速比率： $e^\beta$ ）を用いるパケット転送速度予測の構成を示す。

【0115】複数の信号源50からの信号が多重化された多重化信号出力は、速度予測器53に

入力される。速度予測器53は、グループ別速度測定器56と速度予測計算回路55を備える。グループ別速度測定器56の測定した現在のグループ別速度と入力される速度時間変化比率（加速比率： $e^\beta$ ）、予測時間t入力とから速度予測計算回路55はt時間後の速度予測を行う。

【0116】グループ別速度測定器56は、入力を宛先アドレスもしくは回線番号または経路識別番号で識別してnグループに分け、各パケット流グループ（G<sub>1</sub>～G<sub>n</sub>）ごとに、現在のパケット転送速度 $V_{G1} \sim V_{Gn}$ を測定する。そのグループごとの現在のパケット転送速度を速度予測計算回路55に出力する。この各パケット転送速度測定は図17の速度測定と同じである。

【0117】速度予測計算回路55は、各信号源50の速度時間変化比率（加速比率： $e^\beta$ ）と予測時間tから、t時間後の速度予測計算を行う。各信号源の速度の

下限が零でなく  $t$  時間後の速度上昇比率が単位時間当たり  $\exp(\beta)$  以下に制限されている場合には、現在の速度の  $\exp(\beta t)$  倍を越えることはないので最大速度上昇の上限が決まる。このため、信号源 50 を  $n$  グループ分けした各パケット流グループ  $G_1 \sim G_n$  ごとに、このグループ内の最大の加速比率係数  $\beta_i$  ( $i = 1 \sim n$ ) と各グループごとの現在のパケット転送速度  $V_{Gi} \sim V_{Gn}$  から、パケット流の  $t$  時間後のパケット最大速度  $V(t)$  予測値は、

【0118】

【数10】

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t))$$

によって求めることができる。

【0119】この予測誤差を小さくするには、各パケット流を  $n$  グループにグループ化する場合、加速比率  $\exp(\beta)$  の大小のレベルに分けてすることが望ましい。これは、グループ内では一番大きな加速比率係数  $\beta$  に統一することで、その上昇比率を越えないように保証できるからである。

【0120】この図18に示すパケット転送速度予測方法は、図17に示す方法と異なり、予測式に信号源数がないことにより、多数の信号源を含む多重化信号の予測に適している。さらに、ある  $\beta_i$  を  $\beta_i = 0$  とすることで、一定速度の信号を含む場合でも速度予測が可能であり、可変速度信号源と固定速度信号源とが混在したパケット多重統合網での速度予測にも適用できる。

【0121】この図18のパケット転送速度予測は、各信号源 50 が常時信号を発生している場合に成り立つ（信号源の下限が零でない場合）。しかし、信号発生を停止（下限が零の場合）可能である信号源  $j$  ( $j = 1 \sim s$  : 信号源の総数を  $s$  とする) が予測時間  $t$  内の  $T_0$  で信号発生を開始する場合には、各初期値の速度を  $V_{Ij}$  とすると、上限速度を

$$V_{Ij} \cdot \exp(\beta_j (t - T_0))$$

とした速度増加となる。この信号発生開始時点が各信号源でランダムであるとする、予測が不可能であるため、初速度  $V_{Ij}$  が非常に小さい値である場合は、速度予測計算から無視すればよい。もし、無視できない場合は、全ての初速度の合計を速度予測計算に加えたものが、最大速度予測の上限値  $V(t)$  となり、次の式で表される。

【0122】

【数11】

$$V(t) = \sum_{i=1}^n (V_{Gi} \cdot \exp(\beta_i \cdot t)) + \sum_{j=1}^s V_{Ij}$$

このように、本発明実施例でのパケット転送速度の予測は、 $t$  時間後の最大パケット転送速度を予測できるた

め、将来の輻輳を事前に正確に予測可能であり、輻輳を事前に回避することができる。

【0123】（パケット送出制御の実施例）次に、送信パケット端末装置3のパケット送出制御について説明する。図19はパケット端末装置のパケット送出制御回路の構成を示すブロック図であり、図5あるいは図12の構成では送信パケット端末装置のパケット流制御回路35にあたる。なお、ここでのパケットは固定長パケットであるセルといわれるものである。

10

【0124】図19において、セルバッファ61は、入力セル  $a$  を一時蓄積し、セル送出有無信号  $b$  が示す「セル送出有」に応じて蓄積したセルを出力セル  $c$  として送出する。セルバッファ61は、蓄積したセルが所定数に達したときにセル蓄積信号  $d$  を出力し、送出すべきセルが無くなったときにエンプティ信号  $e$  を出力する。アドレス発生回路62は、出力するアドレス値をセル周期で1ずつ増加させる回路であり、セル蓄積信号  $d$  が与えられ、初期値1から順次増加する読み出しアドレス  $f$  をセル送出間隔時間テーブル64に与える。

20

【0125】セル送出間隔時間テーブル64には、各アドレス対応にセル送出有無を示すビット情報が書き込まれており、読み出しアドレス  $f$  に対応するビット情報をセル送出有無信号  $b$  として出力する。なお、セル送出有を示すビット情報の間隔はセル送出間隔に対応しており、それが指数関数的に短くなるようにセル送出有無を示す各ビット情報が配列される。その構成例を図20に示す。1～ $N$ は、1セル時間ごとの経過時間に対応するアドレスであり、各アドレスごとに、その経過時間にセル送出を行うことを示すビット情報「1」と、その経過時間にセル送出を行わないことを示すビット情報「0」が書き込まれる。したがって、セル送出有無信号  $b$  は「1」または「0」の値を取り、各アドレスに対応する経過時間にセル送出をするか否かを指定する。ここに示すように、「1」の間隔（セル送出間隔）が指数関数的に短くなっていくが、その間隔の算出方法については後述する。

40

【0126】セル速度判定器63は、読み出しアドレス  $f$  とセル送出間隔（セル速度）が対応していることを利用し、規定アドレス  $g$  と比較することによりセル速度が規定値を越えたか否かを判定する。さらに、セル速度が規定値を越えたことが判定されたときに、判定信号  $h$  をアドレス発生回路62に与える。また、アドレス発生回路62には、網から輻輳が予測される旨の混雑予知信号  $i$  が入力される。

【0127】以上の構成に基づいて、セル送出制御動作について説明する。

【0128】セルバッファ61にセルが蓄積され、セル蓄積信号  $d$  がアドレス発生回路62に与えられると、アドレス発生回路62は読み出しアドレス  $f$  をインクリメントしながら出力し、セル送出間隔時間テーブル64は



その読み出しアドレス  $f$  に応じたセル送出有無信号  $b$  をセルバッファ 61 に順次与える。これにより、セルバッファ 61 からは、セル送出間隔時間テーブル 64 に記憶されたセル送出有を示すビット情報の間隔で出力セル  $c$  が送出され、指数関数的に短くなるセル送出間隔が実現される。

【0129】また、セル送出間隔に対応するセル速度が規定されたピーク速度を越えると、セル速度判定器 63 は判定信号  $h$  をアドレス発生回路 62 に送出する。アドレス発生回路 62 はこの判定信号  $h$  が入力されるごとに、読み出しアドレス  $f$  を規定されたセル速度に対応するアドレス値まで戻し、改めてアドレス値を 1 ずつ増加させる処理を繰り返す。これにより一定のセル速度 (CBR: Constant bitrate) を維持することができる。なお、図 20 に示すセル送出間隔時間テーブル 64 において、例えばアドレス  $N$  がピーク速度に対応するアドレスであるとした場合に、戻りアドレスを  $N-5$  とすると、そのビット情報が「1」であるためにピーク速度が上昇する。したがって、この場合には、読み出しアドレス  $f$  を戻したときにセル速度の平均速度とピーク速度の差が少なくなるアドレスとして、例えば  $N-4$  を戻りアドレスとした方がよい。

【0130】また、アドレス発生回路 62 に網から混雑予知信号  $i$  が入力されると、その時点におけるアドレス値から所定数あるいは所定比率だけ減少させたアドレス値まで戻し、改めてアドレス値を 1 ずつ増加させる。これにより、セル速度を速やかに低下させることができ、輻輳を防止することができる。なお、混雑予知信号  $i$  が入力されたときに所定比率だけ減少させたアドレス値に戻る場合は、前記実施例で示したセル速度を一定指数比率低減する方法で、網を使用する全パケット端末装置の公平使用を保証することができる。また、所定数だけ減少させたアドレス値に戻る場合は、前記実施例で示したセル速度を一定比率低減する方法で、最初からセルを送出しているパケット端末装置に優先権が与えられる。

【0131】セル送出有りを示すセル送出有無信号  $b$  がセルバッファ 61 に与えられた時、セルバッファ内セルが「0」である場合には、一つ前のセル送出時点からセルバッファに新たなセルがストアされるまでの時間を測定し、その時間幅に等しいセル速度までアドレス発生回路 62 のアドレス値を戻す。もしくは、アドレス発生回路 62 のアドレス値を初期値に戻す。

【0132】次に、セル送出間隔時間テーブル 64 の作成方法について説明する。

【0133】例えば伝送速度  $V$  (bit/sec) の伝送路に対して、セル送出開始からの経過時間  $t$  (sec) 定数 (初速度)  $A$ 、加速比率係数  $\beta$  (1/sec) としたときに、セル速度が指数関数  $A \cdot \exp(\beta \cdot t)$  (bit/sec) に従って増加するものとする。現在のセル送出間隔を  $P_i$  (整数)、そのセル送出開始時における経過時間  $t_i$ 、セル送出間

隔誤差を  $E_i$  ( $|E_i| < 1$ )、1セル時間を  $T_0$  とすると、次のセル送出間隔  $P_{i+1}$  (整数) は、

$$V / (A \cdot \exp(\beta \cdot (t_i + P_i \cdot T_0))) + E_i$$

の少数点以下を切り捨て、または切り上げ、または四捨五入することにより与えられる。またその時のパケット送出間隔誤差  $E_{i+1}$  は、

$$V / (A \cdot \exp(\beta \cdot (t_i + P_i \cdot T_0))) + E_i - P_{i+1}$$

によって与えられる。

【0134】このようにして次々にセル送出間隔を求めることにより、セル送出間隔時間テーブル 64 を作成することができる。なお、セル送出間隔の算出に当たって、その前のセル送出間隔誤差を加味して誤差補正を行うことにより、特に高速セル速度領域において、平均セル速度を時間経過とともに指数関数的に滑らかに上昇させることができる。

【0135】図 21 に、セル送出制御回路の別の実施例の構成を示す。図において、アドレス発生回路 65 およびセル送出間隔時間テーブル 66 を除く構成は、図 19 の実施例と同様である。セル送出間隔時間テーブル 66 は、アドレス発生回路 65 から読み出しアドレス  $f$  が与えられたときに、その読み出しアドレス  $f$  に対応するセル送出有無信号  $b$  をセルバッファ 61 に送出するとともに、戻りアドレス  $j$ 、 $k$  をアドレス発生回路 65 に送出する。戻りアドレス  $j$  は規定されたセル速度に対応する戻りアドレスであり、戻りアドレス  $k$  は乗算形または減算形の戻りアドレスである。

【0136】セル送出間隔時間テーブル 66 の構成例を図 22 に示す。1~ $N$  は、1セル時間ごとの経過時間に対応するアドレスであり、各アドレスごとに、その経過時間にセル送出を行うことを示すビット情報「1」と、その経過時間にセル送出を行わないことを示すビット情報「0」が書き込まれる。さらにセル送出間隔時間テーブル 66 には、各アドレスに対応して、乗算形または減算形の戻りアドレス  $k_1 \sim k_N$  と、規定されたセル速度に対応する戻りアドレス  $j_1 \sim j_N$  が書き込まれる。このセル送出間隔時間テーブル 66 の作成方法は、上述したセル送出間隔時間テーブル 64 の場合と同様である。ただし、乗算形の戻りアドレス  $k_1 \sim k_N$  は、アドレス値に所定値  $K$  ( $K < 1$ ) を乗算した値の小数点以下を切り捨て、または切り上げ、または四捨五入して求める。

【0137】アドレス発生回路 65 は、上述したように、網を公平使用する場合には、現時点のアドレスより所定比率だけ減少させた戻りアドレス (乗算形の戻りアドレス)  $k$  を格納し、その時点で混雑予知信号  $i$  を入力された場合に、読み出しアドレス  $f$  をその戻りアドレス  $k$  まで戻してアドレスインクリメントを再開する。また、網を優先使用する場合には、現時点のアドレスより所定数だけ減少させた戻りアドレス (減算形の戻りアドレス)  $k$  を格納し、その時点で混雑予知信号  $i$  が入力さ

れた場合に、読み出しアドレス  $f$  をその戻りアドレス  $k$  まで戻してアドレスインクリメントを再開する。

【0138】また、アドレス発生回路 65 は、規定されたセル速度に対応する戻りアドレス  $j$  を格納し、セル速度が規定値を越えたときにセル速度判定器 63 から出力される判定信号  $h$  に応じて、読み出しアドレス  $f$  をその戻りアドレス  $j$  まで戻してアドレスインクリメントを再開する。なお、この戻りアドレス  $j$  は、同様にセル速度の平均速度とピーク速度の差が少なくなるアドレスに設定する。

【0139】このように、セル送出間隔時間テーブル 66 に各戻りアドレスを書き込んでおくことにより、アドレス発生回路 65 は必要な演算をすることなく、与えられた戻りアドレスをそのまま用いることができる。したがって、セル送出間隔時間テーブル 66 のメモリ量は増加するが、アドレス発生回路 65 における乗算器および減算器が不要となるので、高速動作が可能となる。

【0140】なお、以上示した実施例では、混雑予知信号  $i$  が入力されたときに、読み出しアドレス  $f$  を所定数あるいは所定比率だけ減少させたアドレスまで直接戻す構成を示したが、その時点における読み出しアドレス  $f$  をセル時間ごとに 1 つずつ減少させ、所定数あるいは所定比率だけ減少させたアドレスまでデクリメントさせるようにしてセル速度を減少させてもよい。この場合に、目的とするアドレスまで減少させた後はアドレスインクリメントを再開する。

【0141】また、以上示した実施例において、混雑予知信号  $i$  が入力されたときに、読み出しアドレス  $f$  を所定比率だけ減少させたアドレスまで戻す構成を採った場合には、戻りアドレスがセル送出間隔に応じてあらゆる値を取りうる、すなわち戻る時間位置がランダムになるので、複数のパケット端末装置から送出されるセルが混雑中継ノード装置に同時に到着する確率を小さくすることができる。

【0142】なお、図 19、図 20 の実施例は速度の増加の程度が加速比率  $\exp(\beta)$  の場合であるが、加速度  $\alpha$  の場合も同様にセル間隔時間テーブルを用いてセル送出制御回路を構成できる。

【0143】

【発明の効果】本発明のパケット網では、将来に輻輳が発生することを検出するために、パケット転送速度の増加を表す値として加速度または加速比率という概念により、所定時間後の将来のパケット転送速度を現在のパケット転送速度に基づいて決定論的にかつ正確に予測して網内での輻輳を予測することができ、その予測に基づいて効果的なパケット送出制御を行うことが可能である。

このため、(1) パケット網でのパケット廃棄がない、(2) 高スループットの網運用ができる、(3) ノードのバッファメモリ容量を小さくできる、(4) ネットポロジの制限がない、(5) 可変速度と固定速度通信の統

合網ができる、(6) CBR 送信ノードの規定速度以上は VBR 送信ノードとして動作できる、(7) 1:1、N:M 通信にも適用できる、(8) 混雑予知信号通知により新たなパケットを網内で発生することがない方法が可能である効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の送信ノードでの送信停止による輻輳回避原理を説明する図面。

10 【図 2】従来のウインドウフロー制御による輻輳回避原理を説明する図面。

【図 3】本発明が適用されるパケット網の形態を示す図。

【図 4】このパケット網の中継ノード装置と端末装置とに簡略化して表した図。

【図 5】本発明の輻輳回避法を用いる可変速度パケット端末装置、固定速度パケット端末装置および中継ノード装置の構成を示すブロック図。

【図 6】パケット転送速度の算出方法を説明する図。

20 【図 7】送信パケット端末装置から出力されるパケット流量(1)と中継ノード装置へ入力されるパケット流量(2)との時間関係を説明する図。

【図 8】 $k=1.25$ とした場合の中継ノード装置における混雑回避のシミュレーション結果を示す図。

【図 9】実施例 2 の送信パケット端末装置から出力されるパケット流量(1)と中継ノード装置へ入力されるパケット流量(2)との時間関係を示す図。

【図 10】中継ノード装置における混雑回避のシミュレーション結果を示す図。

30 【図 11】中継ノード装置における混雑回避のシミュレーション結果を示す図。

【図 12】実施例 3 の混雑回避法に用いる可変速度端末装置、固定速度端末装置および中継ノード装置の構成を示す図。

【図 13】固定速度サービス CBR と可変速度サービス VBR の各速度関係を示す図。

【図 14】固定速度サービス CBR の速度の時間変化(加速比率一定)を示す図。

【図 15】可変速度サービス VBR の速度の時間変化(加速比率一定)を示す図。

【図 16】合計速度が使用率の上限となると予測した場合の可変速度サービス VBR の速度低減の様子を示す図。

【図 17】パケット速度予測器の構成を示すブロック図。

【図 18】パケット速度予測器の他の構成を示すブロック図。

【図 19】パケット送出制御回路の構成を示すブロック図。

【図 20】パケット送出時間間隔テーブルの内容を示す図。

31

32

【図21】パケット送出制御回路の他の構成を示すブロック図。

【図22】パケット送出時間間隔テーブルの内容を示す図。

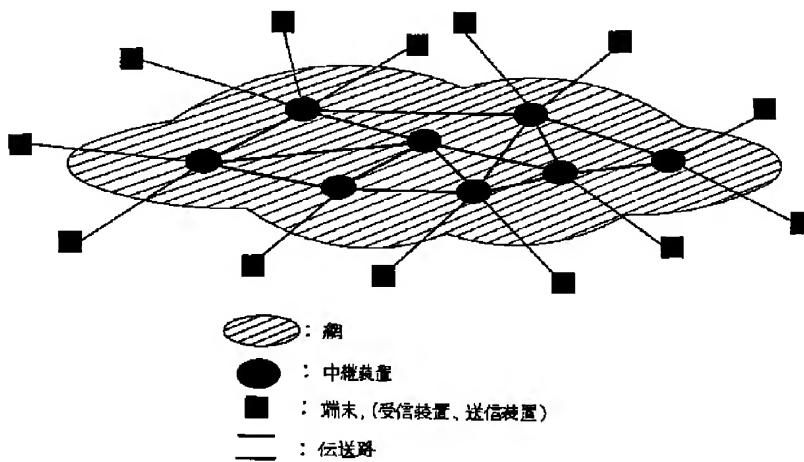
【符号の説明】

- 1 伝送路
- 2、10、20 中継ノード装置
- 3 パケット端末装置
- 11 パケット伝送路
- 21、22 バッファメモリ
- 23、24 経路選択回路
- 25、26 混雑予測回路
- 27、28 速度増加要求表示消去回路
- 30 可変速度端末装置
- 31 パケット組立回路
- 32、33 バッファメモリ
- 34 パケット分解回路
- 35 パケット流制御回路
- 36 バッファ量検出回路
- 37 速度増加要求表示送信回路

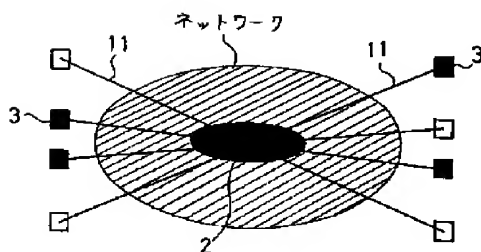
- 38 速度増加要求表示受信回路
- 39 混雑予知信号受信回路
- 40 固定速度端末装置
- 41 パケット組立回路
- 42、43 バッファメモリ
- 44 パケット分解回路
- 45 パケット流制御回路
- 50 信号源
- 51 多重化回路
- 53 パケット速度予測器
- 54 速度測定器
- 55 速度予測計算回路
- 56 グループ別速度測定器
- 61 セルバッファ
- 62 アドレス発生回路
- 63 セル速度判定器
- 64 セル送出間隔時間テーブル
- 65 アドレス発生回路
- 66 セル送出間隔時間テーブル

20

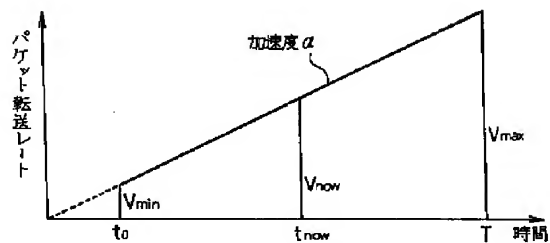
【図3】



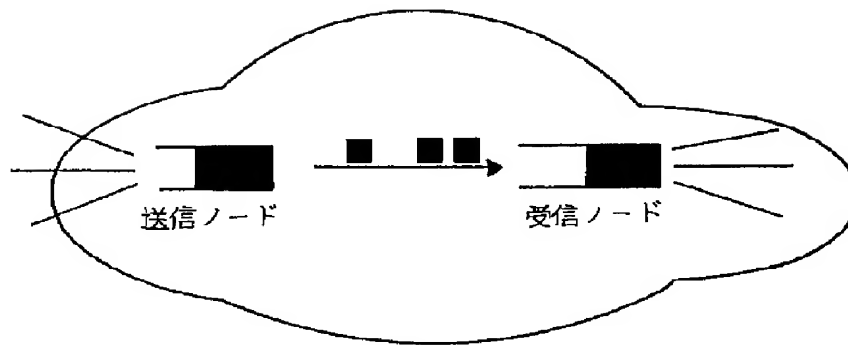
【図4】



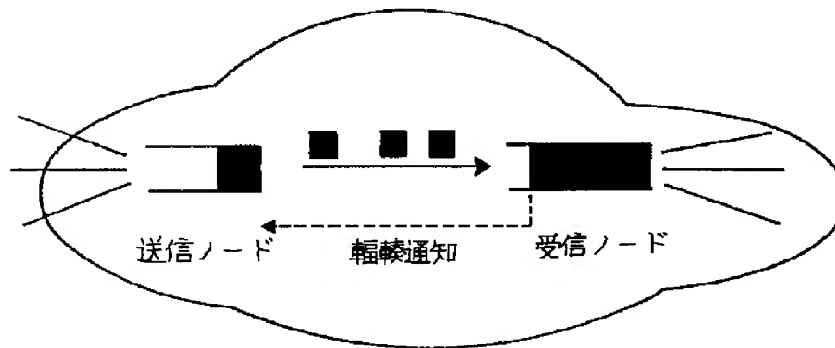
【図6】



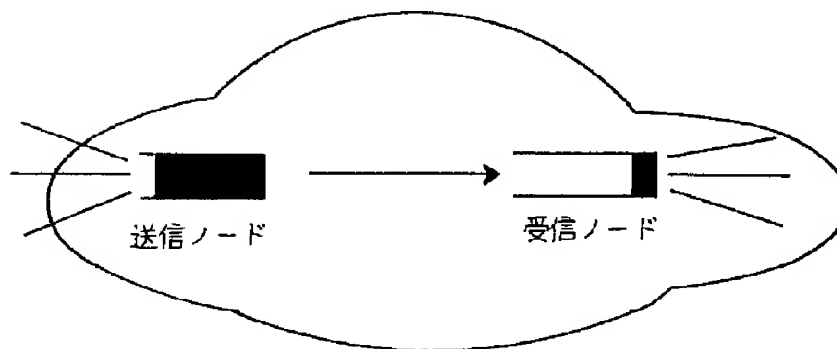
【図1】



(a) 通常送信状態



(b) 輻輳通知状態

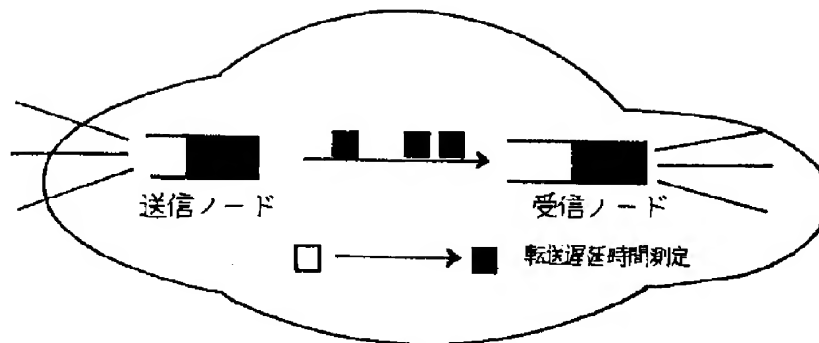


(c) 輻輳回避状態

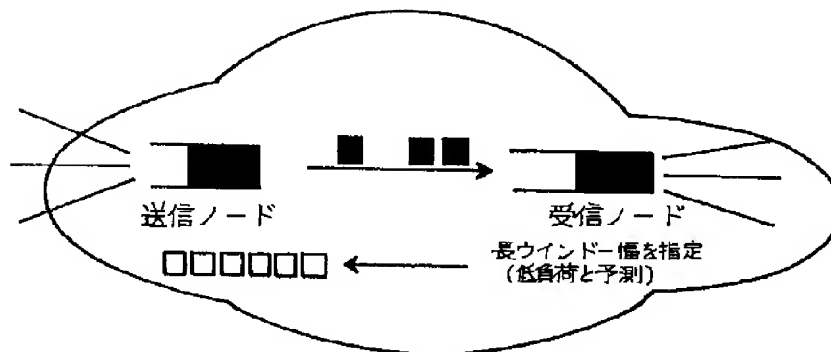
【図20】

セル送出 有無信号	1	0	0	0	0	0	1	---	1	0	0	1	0	1
アドレス	1	2	3	4	5	6	7		N-5	N-4	N-3	N-2	N-1	N

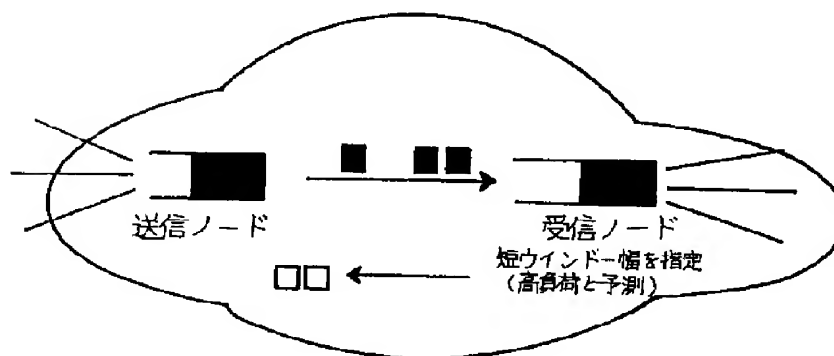
【図2】



(a) ウィンドー幅決定処理

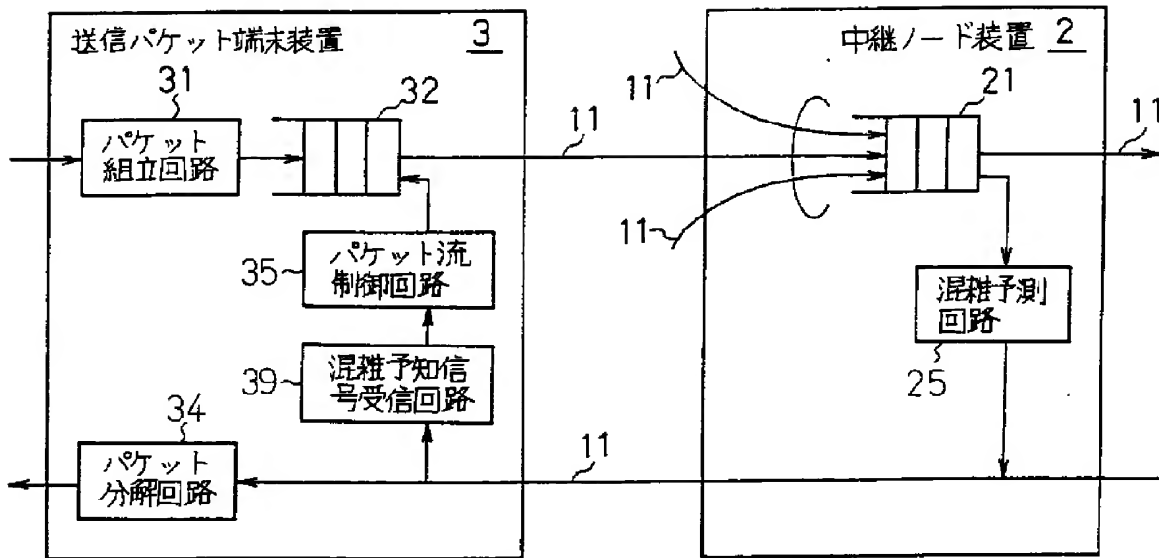


(b) 遅延時間が減少している場合

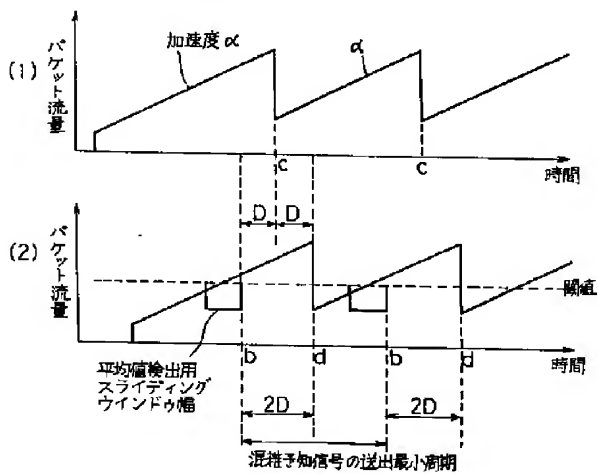


(c) 遅延時間が増加している場合

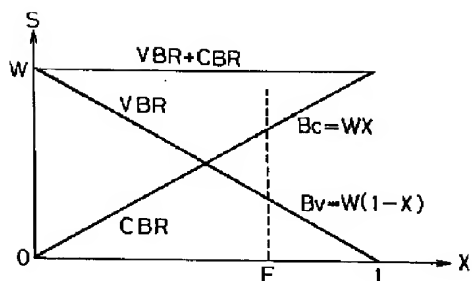
【図5】



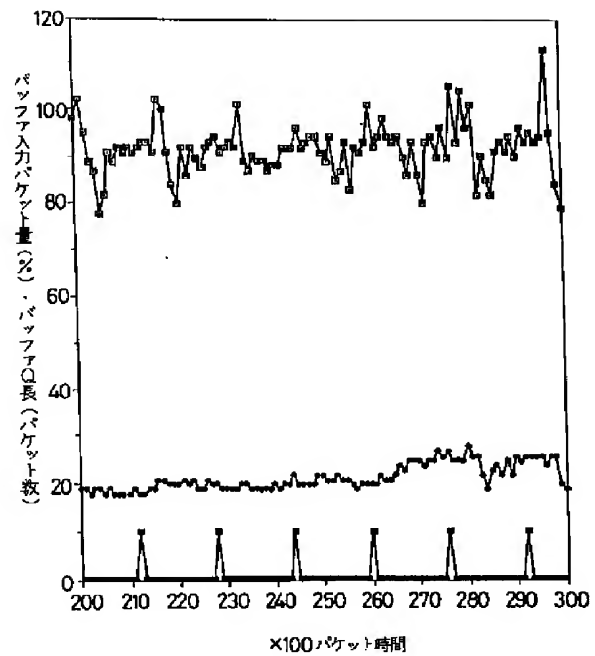
【図7】



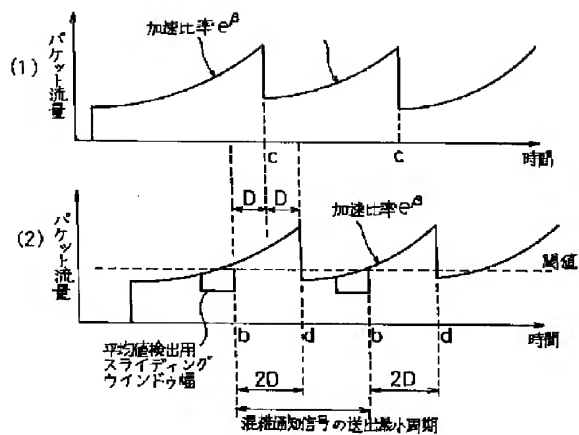
【図13】



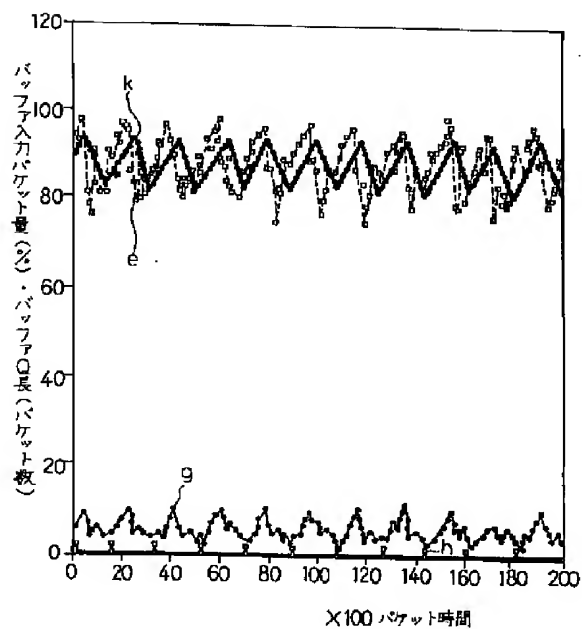
【図8】



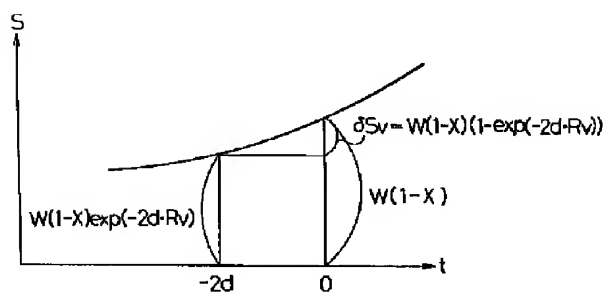
【図9】



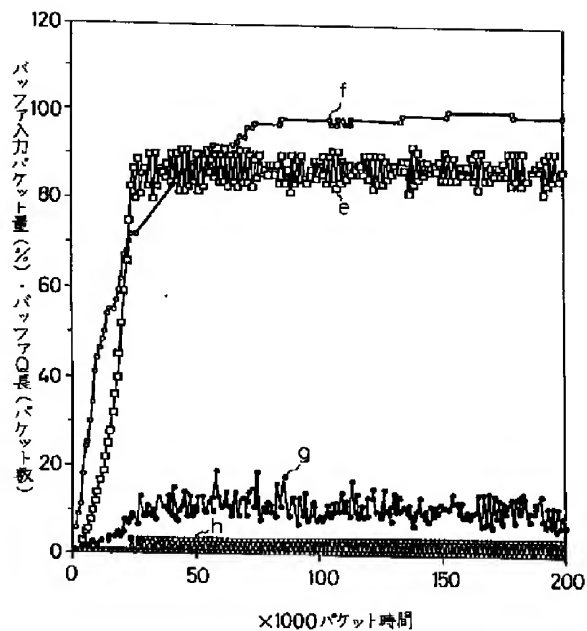
【図11】



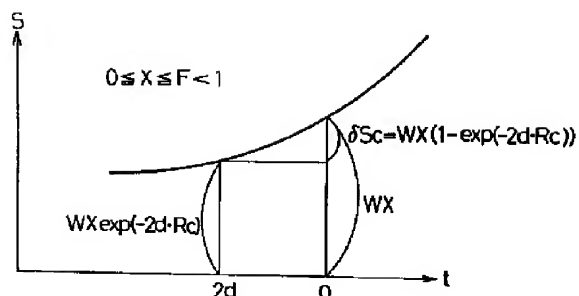
【図15】



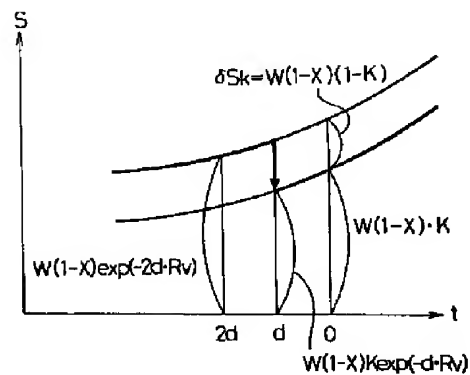
【図10】



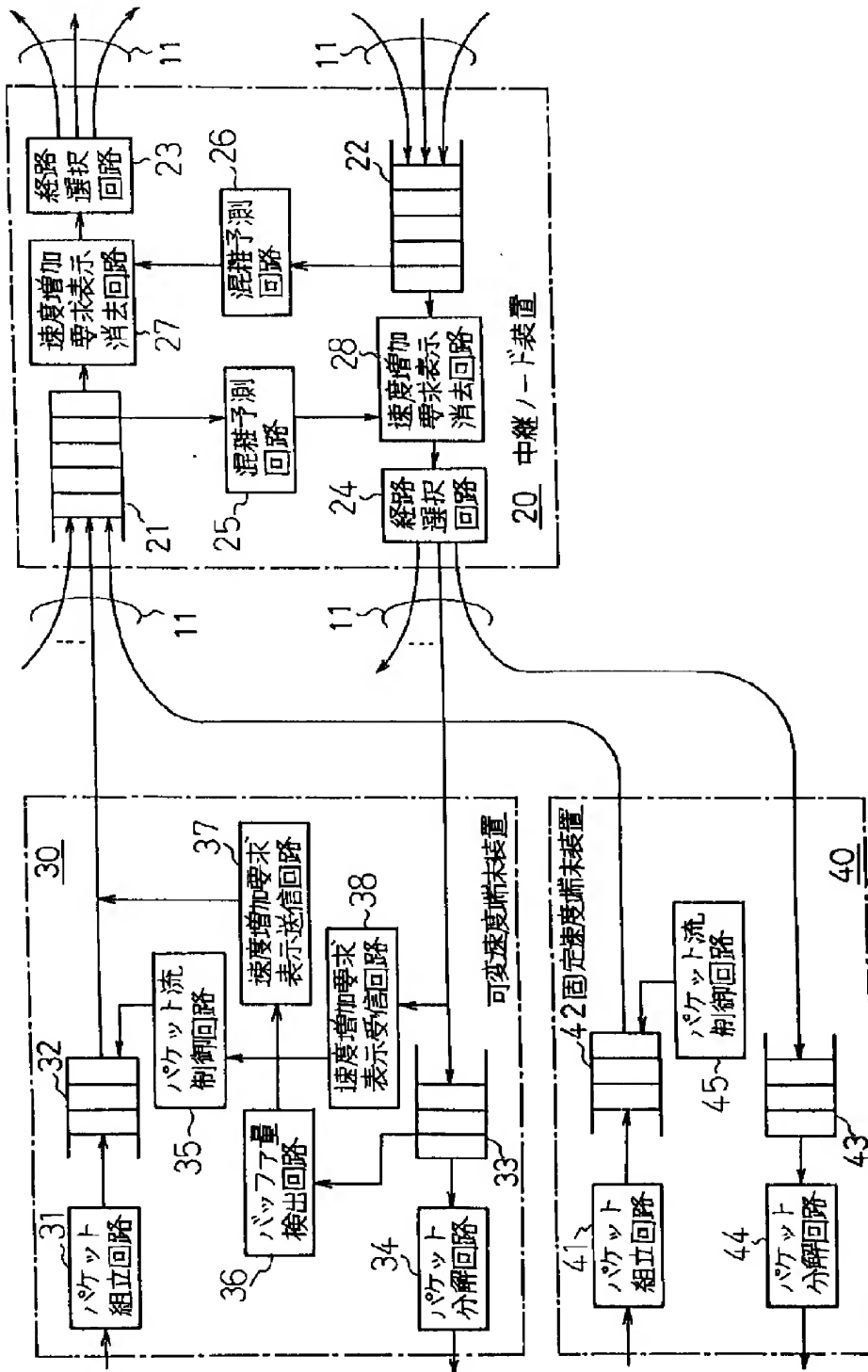
【図14】



【図16】

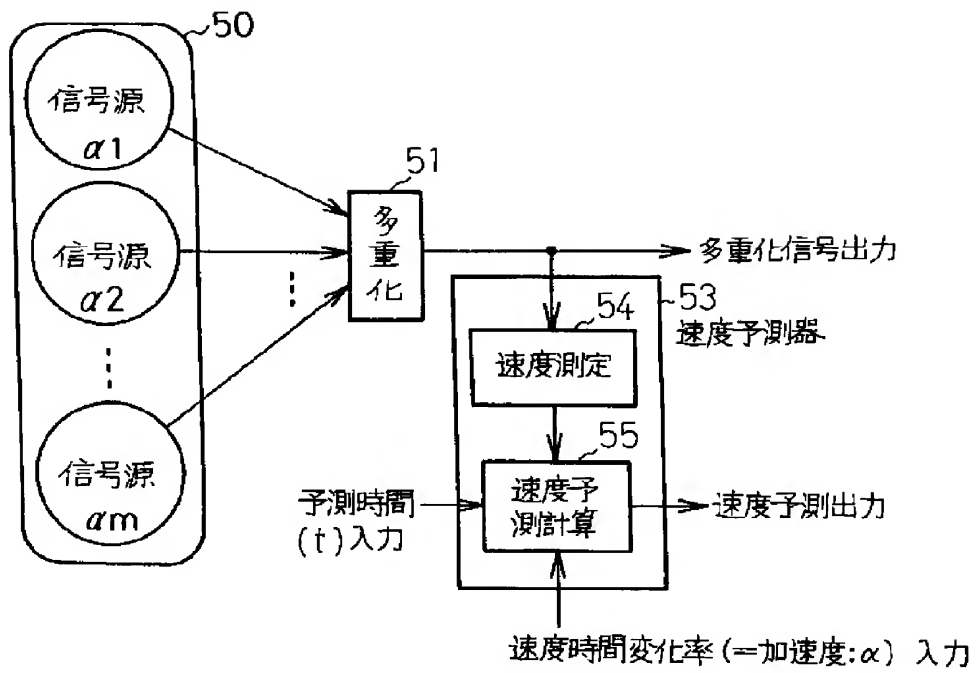


【図12】

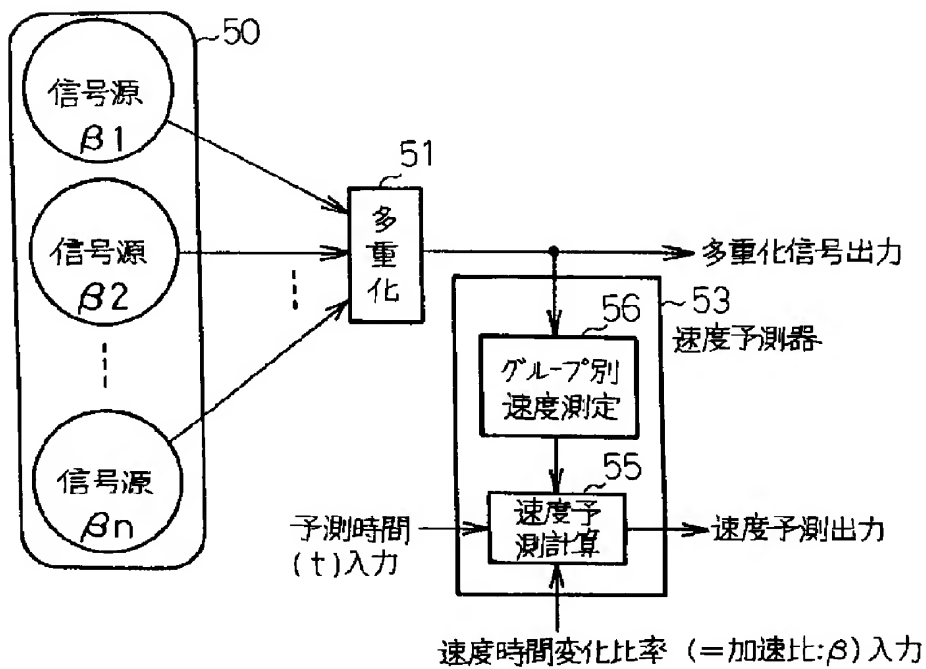




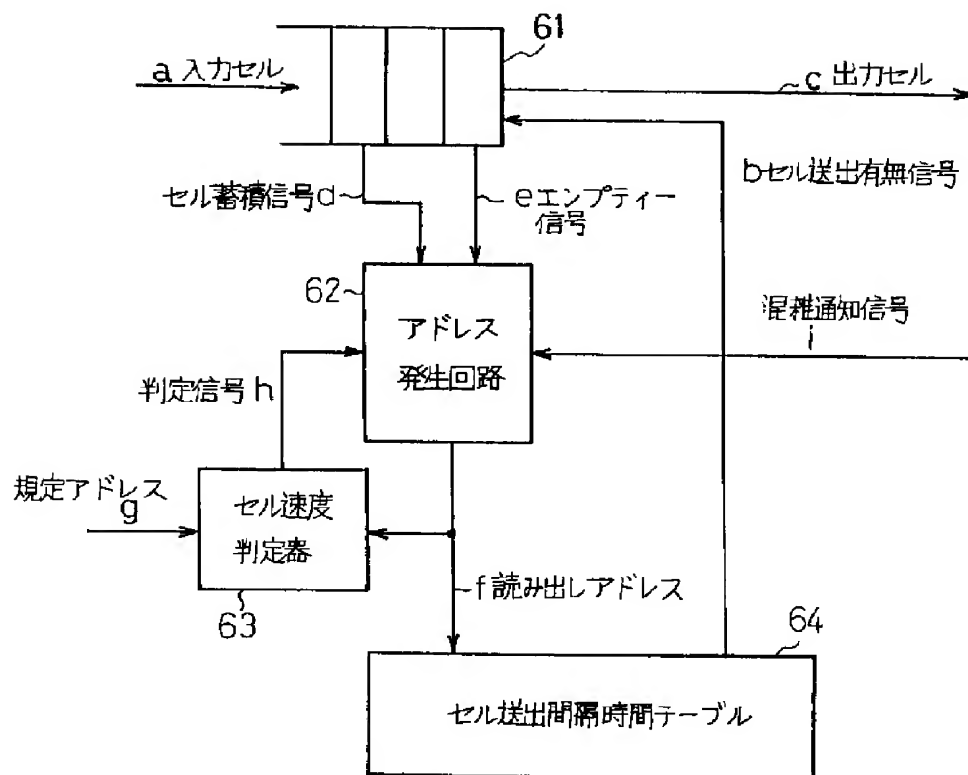
【図17】



【図18】



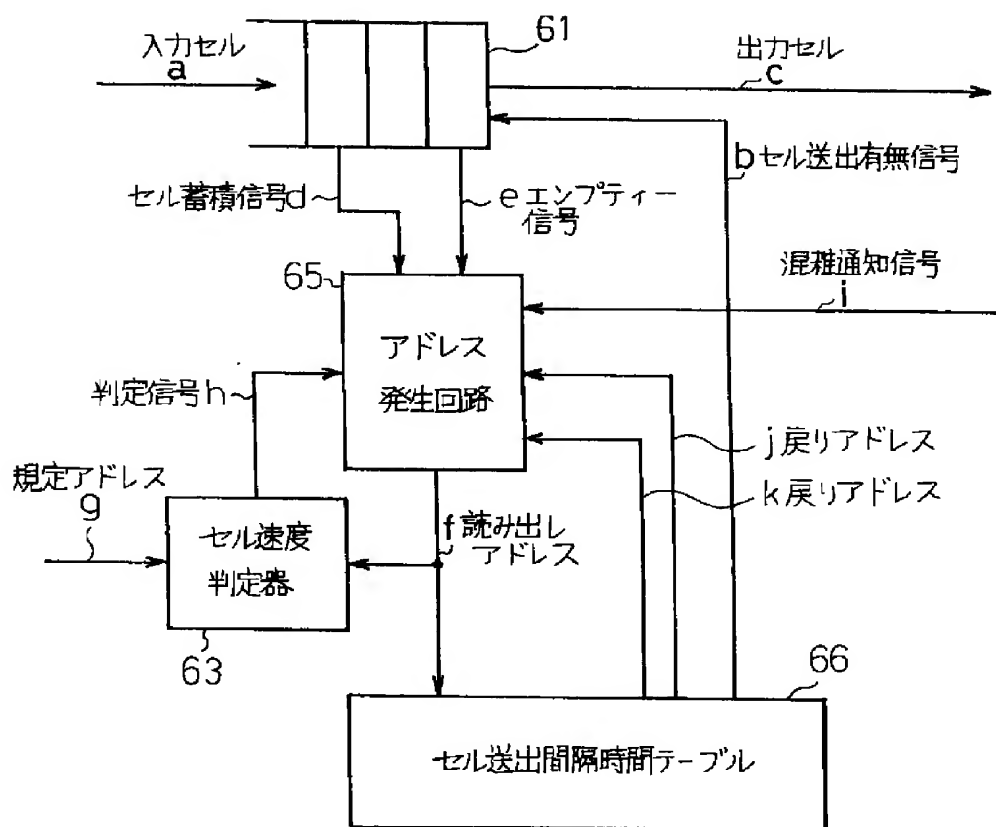
【図19】



【図22】

乗算形または減算形の 戻りアドレス	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	---	k <sub>N-5</sub>	k <sub>N-4</sub>	k <sub>N-3</sub>	k <sub>N-2</sub>	k <sub>N-1</sub>	k <sub>N</sub>
規定されたセル速度に 対応する戻りアドレス	j <sub>1</sub>	j <sub>2</sub>	j <sub>3</sub>	j <sub>4</sub>	j <sub>5</sub>	---	j <sub>N-5</sub>	j <sub>N-4</sub>	j <sub>N-3</sub>	j <sub>N-2</sub>	j <sub>N-1</sub>	j <sub>N</sub>
セル送出有無信号	1	0	0	0	0	---	1	0	0	1	0	1
アドレス	1	2	3	4	5		N-5	N-4	N-3	N-2	N-1	N

【図21】



フロントページの続き

- (31) 優先権主張番号 特願平5-46922  
 (32) 優先日 平5(1993)3月8日  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)